



GISMOVA. GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen. 2. del - Vejledning

Larsen, Sille Lyster; Christensen, Sarah Christine Boesgaard; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Rygaard, Martin

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Larsen, S. L., Christensen, S. C. B., Albrechtsen, H.-J., & Rygaard, M. (2015). *GISMOVA. GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen. 2. del - Vejledning*. DTU Miljø.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

GISMOVA

GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen

2. del - Vejledning

Sille L. Larsen
Sarah C. B. Christensen
Hans-Jørgen Albrechtsen
Martin Rygaard

Februar 2015

GISMOVA - GIS-baseret Monitoringsstrategi i Vandforsyningen
2. del – Vejledning

2015

Af Sille L. Larsen, Sarah C.B. Christensen, Hans-Jørgen Albrechtsen og Martin Rygaard

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse
Udgivet af: Institut for Vand og Miljøteknologi, Miljøvej, Bygning 113, 2800 Kgs. Lyngby
Projekt
hjemmeside: www.vandibyer.dk
Rekvireres: www.orbit.dtu.dk

Forord

Værktøjet er udviklet i perioden november 2013 til januar 2015 i forbindelse med projektet RiskStyr "Risikostyring i vandforsyning" under Vand i byer - Klimatilpasning og Innovation.

Projektet er et samarbejde mellem DTU, DHI og Danmarks tre største forsyninger, Aarhus Vand, HOFOR og VandCenter Syd.

Dette er anden delrapport af to, hvor første del hedder: *GISMOVA - GIS-baseret Monitoringsstrategi i Vandforsyningen. 1. del - Introduktion, baggrund og metode.*

Lyngby, februar 2015

Indhold

1	Indledning	4
2	Vandforsyningen i Odense Kommune og krav til monitorering	6
3	Opsætning af GISMOVA- analyse	8
3.1	Trin 1: Identificering af hydraulik, trusler og følsomme forbrugere	8
3.2	Trin 2: Registrering på ledningsnet (projektion)	10
3.3	Trin 3: Klassificering af de enkelte lag	16
3.4	Trin 4: Vægtning af lag indbyrdes	18
3.5	Trin 5: Udpegning af optimale prøvetagningssteder	20
3.5.1	Parallelprøver	20
3.5.2	Mix	21
3.5.3	Udkantsområder	22
3.5.4	Indsivningsrisiko	22
3.5.5	Hydrauliske udfordringer	23
3.5.6	Følsomme forbrugere	24
3.6	Trin 6: Evaluering af udpegede prøvetagningssteder	25
3.6.1	Evaluering af "Parallelprøver"	28
3.6.2	Evaluering af "Mix"	29
3.6.3	Evaluering af "Udkantsområder"	30
3.6.4	Evaluering af "Indsivningsrisiko"	31
3.6.5	Evaluering af "Hydrauliske udfordringer"	32
3.6.6	Evaluering af "Følsomme forbrugere"	33
3.6.7	Opsummering af ny-udpegede prøvetagningssteder	34
4	Diskussion	38
5	Konklusion og anbefalinger til VandCenter Syd	40
6	Referencer	42

1 Indledning

GISMOVA - GIS-baseret MONiteringsstrategi i VAndforsyningen – er en GIS-baseret analysemetode til at udpege prøvetagningssteder, til kontrol af drikkevandskvalitet i vandforsyningens distributionssystem.

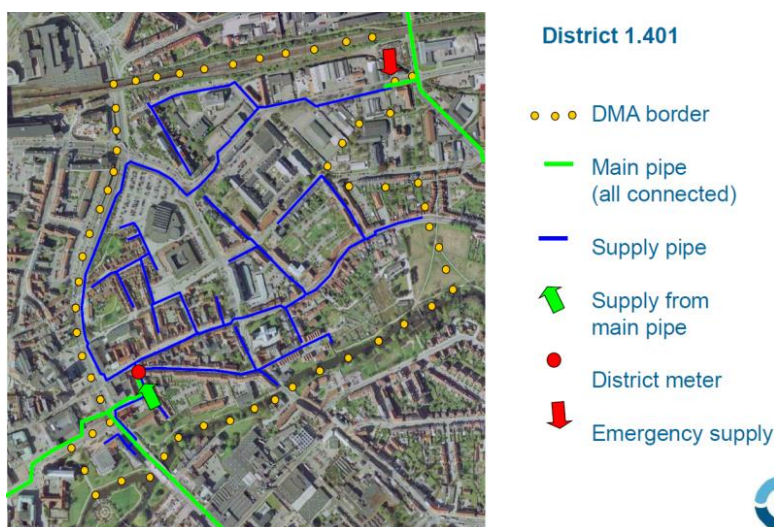
Første del: *GISMOVA - GIS-baseret Moniteringsstrategi i Vandforsyningen. 1. del - Introduktion, baggrund og metode*, beskriver baggrunden for GISMOVA, samt sammenfatning og inspiration til metoden (Larsen et al. 2015). Denne 2. del demonstrerer GISMOVA, anvendt på VandCenter Syds (VCS) distributionssystem. Demonstrationen fungerer også som vejledning til brug af GISMOVA i andre forsyninger og er henvendt til forsyningens GIS-kyndige medarbejder.

2 Vandforsyningen i Odense Kommune og krav til monitoring

Drikkevandet i Odense Kommune bliver leveret af VCS, 14 mindre private vandforsyninger, samt omkring 140 enkeltanlæg. VCS står for 83 % af den samlede produktion i kommunen (Nissen 2014a). VCS består af følgende tekniske anlæg:

- 46 indvindingsboringer
- 6 vandværker
- 15 trykzoner
- 2 højdebeholdere
- 9,3 mio. m³ pumpet ud i 2014
- 5,1 % vandtab
- 1.029 km vandledninger
- 49.500 vandmålere
- 165.000 forbrugere

VCS' distributionssystem er opdelt i sektioner, hvor der ved indgang til hver sektion er placeret en sektionsbrønd, hvor flow, tryk og temperatur registreres. Figur 1 viser et eksempel på en sektionering i VCS.



Figur 1 Illustration af en sektionering i VandCenter Syd, hvor DMA står for District Meter Area (sektionsområde). I den hydrauliske model er kun de grønne ledninger medtaget (Nissen 2014b).

VCS' hydrauliske model omfatter kun hovedledninger (grønne ledninger – Figur 1). Såfremt trykket ved indgang til den enkelte sektion er tilfredsstillende, har VCS vurderet, at det er fyldestgørende kun at simulere distributionssystemets hovedledninger og udelade de mindre forsyningsledninger indenfor sektionerne. Dette reducerer kompleksiteten af den hydrauliske model betydeligt, og det giver god mulighed for at kalibrere modellen, ved hjælp af data fra sektionsbrøndene.

I henhold til drikkevandsbekendtgørelsen er VCS pålagt følgende antal kontroller i distributionssystemet:

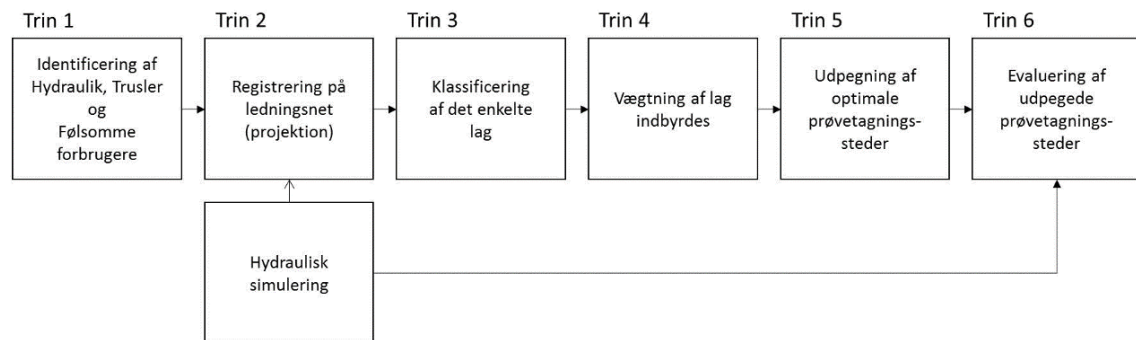
Tabel 1 Kontrolhyppighed ved begrænset kontrol for VandCenter Syd (VCS) i henhold til Drikkevandsbekendtgørelsen

Forsyningsselskab	Distribueret eller produceret vandmængde (m³ pr. år)	Undersøgelser pr. år (Begrænset kontrol)
VCS	≈ 9.300.000	≈ 82

3 Opsætning af GISMOVA- analyse

Som beskrevet i *GISMOVA 1.del*, består GISMOVA af seks primære trin, i kombination med hydrauliske simuleringer:

- Identificering af væsentlige datalag, vedr. hydraulik, følsomheder og trusler
- Projektion af data ind på ledningsnettet
- Klassificering af de enkelte lag til en fælles relativ skala
- Sammenstilling af lagene gennem vægtning af de enkelte parametre
- Analyse af resultatet og udpegning af optimale prøvetagningssteder
- Evaluering af udpegede prøvetagningssteder



Figur 2 Oversigt over fremgangsmåden for udpegning af optimale prøvetagningssteder i distributionssystemet.

Til analysen anvendes softwaren ArcGIS 10.1, ArcCatalog 10.1, med en "Spatial Analyst"-licens. Softwaren har en lang række funktioner og værktøjer vedrørende GIS, tabeller og database-arbejde. De enkelte værktøjers anvendelse i analysen er benævnt i de enkelte afsnit og samlet i henholdsvis Tabel 4, 6 og 8.

Nedenfor er gennemgået metodens 6 trin med VCS' distributionssystem som eksempel.

3.1 Trin 1: Identificering af hydraulik, trusler og følsomme forbrugere

Første skridt i analysen er at identificere, hvilke parametre der bør og kan inddrages i analysen. I tabel 2 er angivet de parametre, der er inddraget i GIS-analysen for VCS.

Tabel 2 Oversigt over parametre relevante for GIS-analysen af VandCenter Syds distributionssystem. "Grænseværdi" definerer det interval, der er relevant at kigge på ved den enkelte parameter. For enkelte parametre er en numerisk grænseværdi ikke relevant (-).

Kategori	Parameter	Datakilde	Geometri	Grænseværdi
Hydraulik	Parallelprøver	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	> 95 % vand fra samme kilde
	Vandets opblandingsgrad	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	-
	Lave hastigheder	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	< 0,4 m/s
	Relativt vandtryk	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	< 20 mVs
	Opholdstid	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	> 48 timer
	Temperatur	VCS vand	Linje	> 12 grader
Trusler	Forurekede grunde	Miljøportalen	Polygon	< 5000 meter fra grunden
	Oversvømmede arealer	VCS Spildevand	Polygon	< 5000 meter fra arealet
	Kritiske back-flow virksomheder	Google	Punkt	< 5000 meter fra virksomheden
	Ledningsalder - Drikkevandsledninger	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	> 25 år
	Ledningsmateriale - Drikkevandsledninger	VCS vand: Hydraulisk model	Linje	-
	Tryksatte Spildevandsledninger	VCS Spildevand	Linje	< 5 meter fra drikkevandsledninger
Følsomme forbrugere	Hospitaler	Google	Punkt	< 5000 meter fra hospitalet
	Plejehjem	Google	Punkt	< 5000 meter fra plejehjemmet
	Produktionsvirksomheder/ Varsko	Google	Punkt	< 5000 meter fra virksomheden
	Befolkningstæthed	VCS vand	Punkt	-

Udeladte parametre

Trykudsving udelades i denne analyse, da der generelt er meget lave trykudsving i VCS' distributionssystem, og dermed er denne parameter irrelevant. Data vedrørende trykstød er ikke tilgængeligt. Data vedrørende tilbagestrømningsrisici var heller ikke umiddelbart tilgængeligt, men Ejby Mølle renseanlæg blev inkluderet under denne parameter. VCS har en liste over virksomheder, der ønsker at blive varslet angående ændringer af

vandkvaliteten, og disse repræsenterer derfor parameteren "Produktionsvirksomheder/Varsko".

3.2 Trin 2: Registrering på ledningsnet (projektion)

Når parametrene, der skal indgå i analysen, er udvalgt, indsamles data, som klargøres til klassificering og vægtning.

I VCS er vandføringen i distributionssystemet simuleret vha. modelværktøjet Aquis (Schneider Electric 2015). Modellen bygger på on-line data fra SCADA og er beregnet for en 7-dages periode, hvor produktionsanlæggene har leveret, hvad der svarer til en "standard uge" (Nissen 2014a). Data fra Aquis udtrækkes som polylines i ESRI-format og benyttes direkte som input til ArcGIS.

De rumlige data, der benyttes i analysen, er i forvejen på vektor-format, men analyserne udføres i raster format. Data skal derfor konverteres fra vektordata til rasterdata. Cellestørrelsen for rasterdata sættes til 1x1 meter for at kunne gengive distributionssystemet i så høj detaljegrad som muligt.

Nedenfor er beskrevet databehandling for hver enkel parameter, der er inddraget i GISMOVA.

Parallelprøver

Den maksimale udbredelse fra de seks vandværker og to højdebeholdere er fundet på baggrund af en syv-dages hydraulisk beregning, gentaget så udbredelsen af vand fra vandværker findes over en 14-dages periode. Data i GIS er den gennemsnitlige udbredelse.

Data benyttes som et resultatlag for sig selv for at angive steder i systemet, hvor mere end 95 % af vandet stammer fra én kilde. Herved er det tydeligt at se, hvor det er muligt at foretage parallelprøver for de enkelte vandværker, højdebeholdere og trykforøgere.

Vandets opblandingsgrad

Den gennemsnitlige udbredelse af vand er også brugt som grundlag til at finde det samlede antal vandværker og højdebeholdere, der bidrager med vand til hver enkel ledningsstrækning i distributionssystemet. Et bidrag kan være meget lavt, fx kan der være strækninger, hvor 99 % vand stammer fra ét vandværk og 1 % fra et andet, hvilket betyder, at der ikke er ret høj grad af opblanding. Hvis forsyningen ønsker det, er det muligt at definere et minimumsbidrag (fx 5 %) for at opblandingen er relevant. Antallet af vandværker benyttes som direkte input til klassificering af data (se trin 3). Dette datalag resulterer i en kortlægning af strategiske prøvetagningssteder med fokus på opblandet vand.

Lave hastigheder

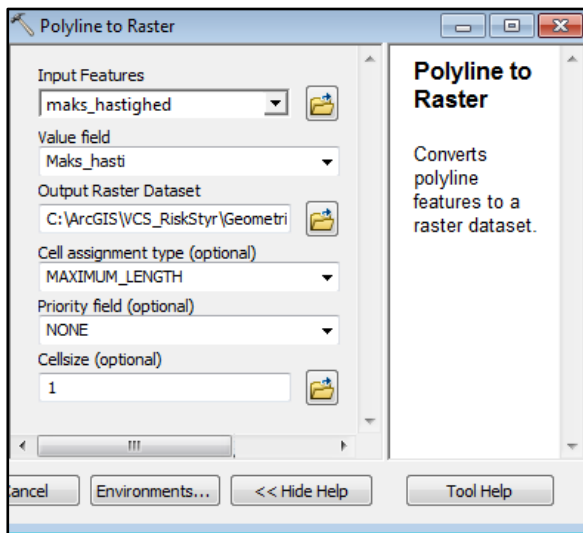
Vandets maksimale hastighed er beregnet for samtlige ledningsstrækninger i Aquis og udtrukket i SHP-format. Dette data importeres i ArcGIS. For at konvertere ledningerne, der er angivet som polylines til raster-format benyttes værktøjet "**Polyline to Raster**" (Figur 3, Tabel 4).

Relativt vandtryk

Vandets laveste tryk er beregnet for samtlige ledningsstrækninger i Aquis og udtrukket i SHP-format. Dette data importeres i ArcGIS og konverteres til raster-format ved hjælp af værktøjet **"Polyline to Raster"** (Figur 3, Tabel 4).

Opholdstid

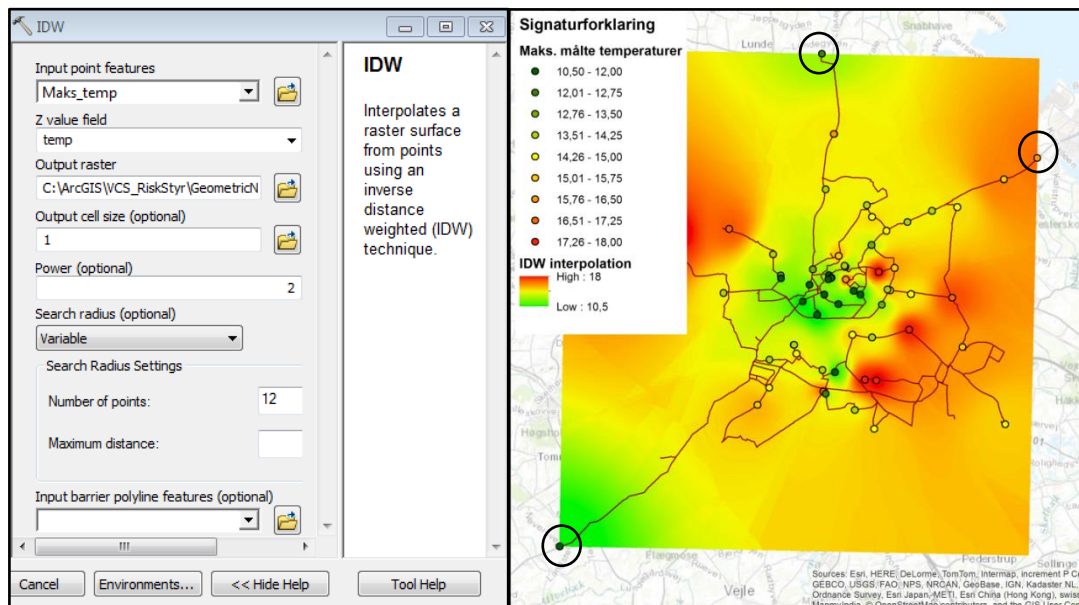
Vandets maksimale opholdstid er beregnet for samtlige ledningsstrækninger i Aquis og udtrukket i SHP-format. Data importeres i ArcGIS og konverteres til raster-format ved hjælp af værktøjet **"Polyline to Raster"** (Figur 3, Tabel 4).



Figur 3 Værktøjet i ArcGIS der konverterer vektor-format til raster-format.

Temperatur

Temperaturen er registreret online i kvarterbrøndene og logges 1 gang pr. min. Der er målinger fra starten af marts til oktober 2014, og her benyttes den højest målte temperatur i perioden. Data er angivet i punktform. For at projicere denne information ind på ledningsnettet er der interpoleret mellem de enkelte punkter ved hjælp af IDW-interpolation, **"IDW"** (Figur 4, Tabel 4). Der er ekstrapoleret for ledninger udenfor området med temperaturmålere ved at indsætte "falske" målestationer i udkanten af distributionssystemet og her sætte temperaturen lig med den nærmeste målestation med direkte forbindelse. Efterfølgende er den interpolerede værdi fundet for de celler, der udgør ledningsnettet ved hjælp af værktøjet **"Extract By Mask"** (Tabel 4).



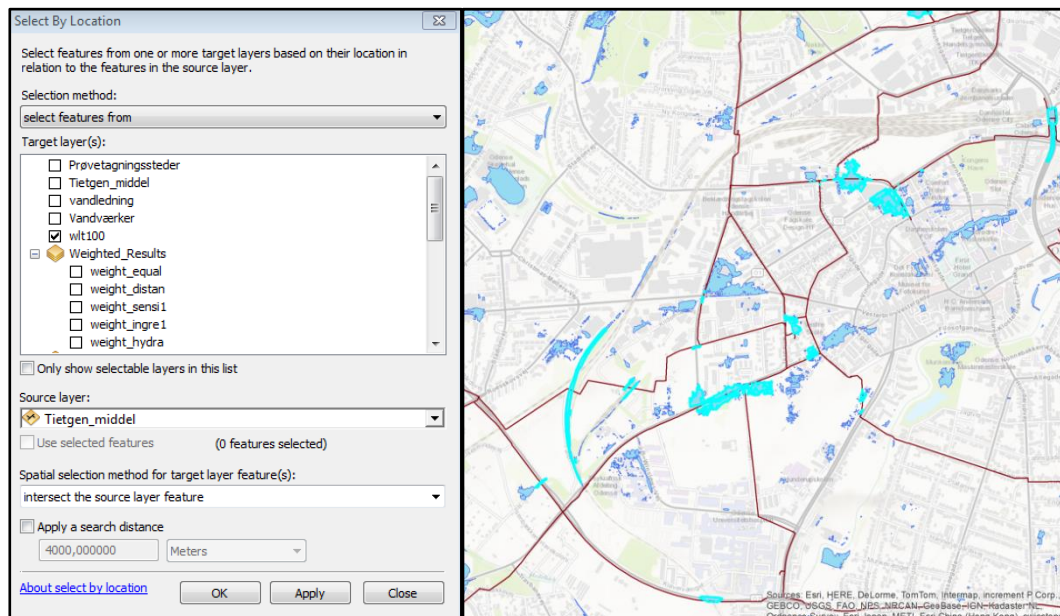
Figur 4 Værktøjet i ArcGIS der interpolerer mellem temperaturmålepunkterne. Med cirkel er angivet de "falske" temperaturmålinger. For at danne en raster, der dækker hele ledningsnettet, er der indsat 3 punkter yderst i forsyningsområdet. Værdien i disse punkter er den samme som i det nærmeste punkt direkte nedstrøms/opstrøms i systemet.

Forurenede grunde

I Odense Kommune er der i alt kortlagt 276 grunde, hvor der er mistanke om forurening (V1-grunde) og 251 grunde, hvor der er konstateret en forurening (V2-grunde). De forurenede grunde ligger især i byområderne, men også spredt rundt om i det åbne land. Data er hentet fra Miljøportalen. Det er kun de forurenede grunde, der ligger i direkte forbindelse med ledningsnettet, der er inkluderet i modellen. Dette er gjort under den antagelse, at der i den dybde hvor ledningen oftest er placeret ikke forekommer horisontalt flow. For at forureningen er en reel trussel for drikkevandet, skal ledningen derfor ligge i forureningen. For at udpege polygoner i direkte forbindelse med ledningsnettet er **"Select by Location"** brugt (Figur 5, Tabel 4). Herefter benyttes **"Pathdistance"** (Figur 6, Tabel 4) til at beregne afstanden fra punktet ud i ledningsnettet.

Oversvømmede arealer

Oversvømmelseskort fra VCS' Klimatilpasningsplan er brugt til at identificere de områder, hvor vandet vil samle sig på terræn. Der er udvalgt oversvømmede arealer givet ved en 100 års hændelse. Dette er en konservativ betragtning, og man kan alternativt bruge en regnhændelse med lavere gentagelsesperiode til at identificere problemområder med vand på terræn. Såfremt der ikke er udført oversvømmelseskortlægning, kan der hentes data hos Kortforsyningen (Miljøministeriet Geodatastyrelsen 2015) over lavninger hvor vandet vil samle sig på terræn. De oversvømmede arealer, der ikke ligger i direkte forbindelse med ledningsnettet, er sorteret fra ved hjælp af **"Select by Location"** (Figur 5, Tabel 4). **"Pathdistance"** benyttes ligesom for forurenede grunde (Figur 6, Tabel 4).



Figur 5 Kortet viser oversvømmede arealer i nærheden af Odense centrum. De oversvømmelsestruede arealer, der ligger i forbindelse med en hovedledning er markeret. Værktøjet "Select by Location" bruges til at udsøge elementer, der krydser distributionssystemet.

Ledningsalder, Drikkevandsledninger

Rørets alder er registreret i ledningsdatabasen og er derfor en del af attribut-tabellen, som overføres fra Aquis til ArcGIS. Polyline med information om ledningens alder konverteres til raster-format ved hjælp af værktøjet "Polyline to Raster" (Figur 3, Tabel 4).

Ledningsmateriale, Drikkevandsledninger

Rørets materiale er afgørende for rørets levetid og for dets generelle holdbarhed. Data vedrørende rørets materiale er tilgængeligt i attributtabelen fra Aquis. På baggrund af data fra VCS er følgende klassificering af rørmaterialer lavet og tilføjet attributtabelen (Nissen 2014b):

Tabel 3 De ni forskellige rør-materialer der benyttes i VandCenter Syds distributionssystem, inddelt på en skala fra 1 til 9 ud fra deres brudhyppighed. Støbejern i klasse 9 er det materiale, hvor der oftest opleves brud, mens der opleves færrest brud på bonna-rør (klasse 1). Data er baseret på tal fra 1999-2013.

Materiale	Klasse
Støbejern	9
Eternit/Asbest/Cement	8
PVC	7
PE	6
Profus	5
Sentap armeret betonrør	4
Duktilt jern	3
TT	2
Bonna	1

Vektor-data konverteres til raster-format ved hjælp af værktøjet "Polyline to Raster" (Figur 3, Tabel 4) med den nye attribut som værdi-givende.



Tip 1: Kunstig udvidelse af beregningsområdet ved brug af Pathdistance

Værktøjet "Pathdistance" beregner afstanden fra punkter eller polygoner i distributionssystemet ud i samtlige retninger, men beregningen sker kun indenfor det område, der er afgrænset af punkterne. For at sikre at afstanden beregnes til selv den fjerneste ende af distributionssystemet, kan det være nødvendigt at indsætte fire "falske" punkter, der definerer hele forsyningsområdet.

Tryksatte Spildevandsledninger

Fælles- og spildevandsledninger er taget fra VCS' afløbsdatabase. Denne inkluderer alle ledninger, og der er derfor foretaget en udvælgelse af ledninger under tryk. De tryksatte ledninger blev derefter yderligere sorteret, så ledninger der krydser eller ligger inden for 5 meters afstand fra drikkevandssystemet inkluderes, og resten udelades fra den videre analyse. De udvalgte ledninger, der ligger 0-5 m fra distributionssystemet, rykkes til distributionssystemet vha "**Snap**" (Tabel 4). De andre værktøjer der benyttes ved databehandling er: "**Select by Location**" (Figur 5, Tabel 4) og "**Pathdistance**" (Figur 6, Tabel 4).

Hospitaler

Hospitaler i VCS' forsyningsområde er identificeret ved en Google Earth søgning "Hospital near 5000" og eksporteret i kmz-format, som importeres til ArcGIS ved hjælp af værktøjet "**KML to Layer**" (Tabel 4). For at projicere punkterne ud på ledningsnettet er "**Snap**"-værktøjet benyttet (Tabel 4). Når punktet er placeret på ledningsnettet, bruges "**Pathdistance**" (Figur 6, Tabel 4) til at beregne afstanden fra punktet ud i ledningsnettet. "Input surface raster" som indgår i værktøjet, er den raster som angiver ledningsnettet. Denne er fx resultatet af konverteringen af polylines til raster for den hydrauliske parameter, hastighed. Inden denne raster benyttes i "**Pathdistance**" omregnes værdien i samtlige celler til 1 ved hjælp af værktøjet "**Reclassify**" (Tabel 4).



Tip 2: Falske krydsforbindelser – en mulig fejlkilde

Ved konvertering af vektor-data til raster skabes der "falske" forbindelser mellem ledninger, der krydser hinanden. Det vil sige, at hvor der på linje-form ingen forbindelse er mellem vandet i to krydsende ledninger, vil der på raster-form være skabt en forbindelse. Ved beregning af vandets afstand fra et punkt op- og nedstrøms i distributionssystemet, vil afstanden også findes ved krydsende ledninger, selvom der i virkeligheden ikke er forbindelse mellem vandet i de to ledninger. Pathdistance-værktøjet vil derfor nogle steder finde afstanden mellem to punkter, der i virkeligheden ikke er i direkte forbindelse med hinanden.

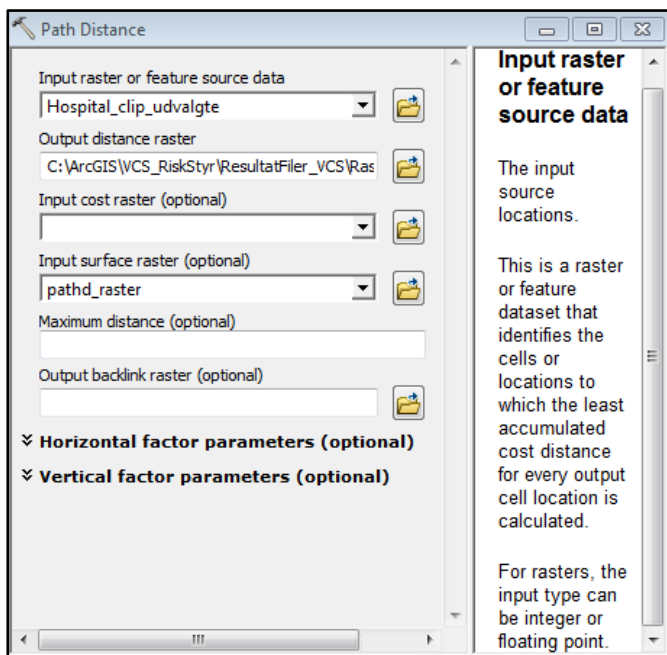
Plejehjem

Plejehjem i VCS' forsyningsområde er fundet ved en Google Earth søgning "Plejehjem near 5000" og eksporteret i kmz-format som kan importeres til ArcGIS ved hjælp af værktøjet "**KML to Layer**" (Tabel 4). For at projicere punkterne ud på ledningsnettet er "**Snap**"-

værktøjet benyttet (Tabel 4). Når punktet er placeret på ledningsnettet, bruges **"Pathdistance"** (Figur 6, Tabel 4) til at beregne afstanden fra punktet ud i ledningsnettet.

Produktionsvirksomheder/Varsko

Denne parameter er i VCS primært varsko-virksomheder. Varsko står for virksomheder og institutioner der specifikt har bedt om at blive oplyst om ændringer af vandets kvalitet, da vandets kvalitet har betydning for deres erhverv. Data var tilgængeligt på punkt-form. For at projicere punkterne ud på ledningsnettet er **"Snap"**-værktøjet benyttet (Tabel 4). Når punktet er placeret på ledningsnettet, bruges **"Pathdistance"** (Figur 6, Tabel 4) til at beregne afstanden fra punktet ud i ledningsnettet.



Figur 6 Værktøjet i ArcGIS der finder afstanden fra et punkt ud i ledningsnettet. "Input raster or feature source data" angiver de punkter, hvorfra beregningen skal foretages. "Input surface raster" er den raster, som angiver ledningsnettet. Denne er dannet på baggrund af hydraulisk data (fx hastighed), hvor værdien i rasteren er sat til 1 overalt vha. værktøjet "reclassify".

Befolkningstæthed

VCS har data vedrørende indbyggere og forbrugere angivet på punktform, med tilhørende information om adresse og forbrug. Data bruges i evalueringen af de udpegede prøvetagningssteder til at sige noget om, hvor mange forbrugere, der er dækket af et udvalgt prøvetagningssted.

Opsummering af GIS-værktøjer

Værktøjet benyttet i GISMOVA og deres funktioner er beskrevet nedenfor (Tabel 4).

Tabel 4 Beskrivelse af ArcGIS værktøjer der er brugt til at behandle data i GISMOVA – trin 2

ArcGIS Værktøj	Funktion
Polyline to Raster	Konverterer linje-data til raster-data
IDW	Interpolerer en raster overflade fra punkt-data ved hjælp af en "Inverse Distance Weighted"- teknik (IDW)
Extract By Mask	Udtræk af celler fra en raster, der svarer til de områder, der er defineret af input raster eller vektordata
KML to Layer	Konverterer en KML eller KMZ fil til vektor-data (SHP)
Snap	Flytter punkter eller linjer, så der sker sammenfald med specificerede punkter, linjer eller knæpunkter
Pathdistance	Beregner afstanden fra specificeret punkt/polygon ud i hele distributionssystemet
Reclassify	Om-klassificerer værdierne i en raster
Select by location	Udpeger data fra et eller flere lag ud fra deres placering i relation til data i et andet lag

3.3 Trin 3: Klassificering af de enkelte lag

Samtlige parametre er konverteret til raster-format, og for at gøre parametrene sammenlignelige skal der sikres en ensrettet måleenhed, der defineres som et indeks for egnethed på en kontinuert skala fra 1-9. Klasse 1 indbefatter de værdier, der ligger uden for grænseværdien og er derfor irrelevant i en monitoringsindsats. Klasse 9 derimod, definerer de mest relevante prøvetagningssteder. Klassificering foretages ved hjælp af værktøjet "**Reclassify**" (Tabel 6) i ArcGIS og intervallet opdeles i lige store bidder. Tabel 5 viser, hvordan alle parametrene er blevet klassificeret på en skala fra 1 til 9.

Tabel 5 Opsummering af klassificering af samtlige parametre inkluderet i GISMOVA-analysen for VandCenter Syd på en skala fra 1 til 9.

Klasse	Hastighed (m/s)	Tryk (mVS)	Opholdstid (dage)	Temperatur (C°)	Rørets alder (år)	Rørets materiale	Opblanding (antal VV)*	Punkt-data (m)**
9	0,00-0,05	1,53-3,84	11,63-13,00	17,25-18,00	104-115	Støbejern	-	0-625
8	0,05-0,10	3,84-6,15	10,25-11,63	16,50-17,25	93-104	Eternit	-	625-1250
7	0,10-0,15	6,15-8,46	8,88-10,25	15,75-16,50	81-93	PVC	-	1250-1875
6	0,15-0,20	8,46-10,77	7,50-8,88	15,00-15,75	70-81	PE	-	1875-2500
5	0,20-0,25	10,77-13,07	6,13-7,50	14,25-15,00	59-70	Profus	-	2500-3125
4	0,25-0,30	13,07-15,38	4,75-6,13	13,50-14,25	48-59	Sentap	4	3125-3750
3	0,30-0,35	15,38-17,69	3,38-4,75	12,75-13,50	36-48	Duktilt jern	3	3750-4375
2	0,35-0,40	17,69-20,00	2,00-3,38	12,00-12,75	25-36	TT	2	4375-5000
1	> 0,40	>20,00	< 2,00	< 12,00	< 25	Bonna	1	> 5000

* Der er ingen ledningsstrækninger, hvor vand fra mere end fire vandværker (VV) blandes.

** Punkt-data relaterer sig til de parametre der behandles vha. pathdistance-værktøjet.

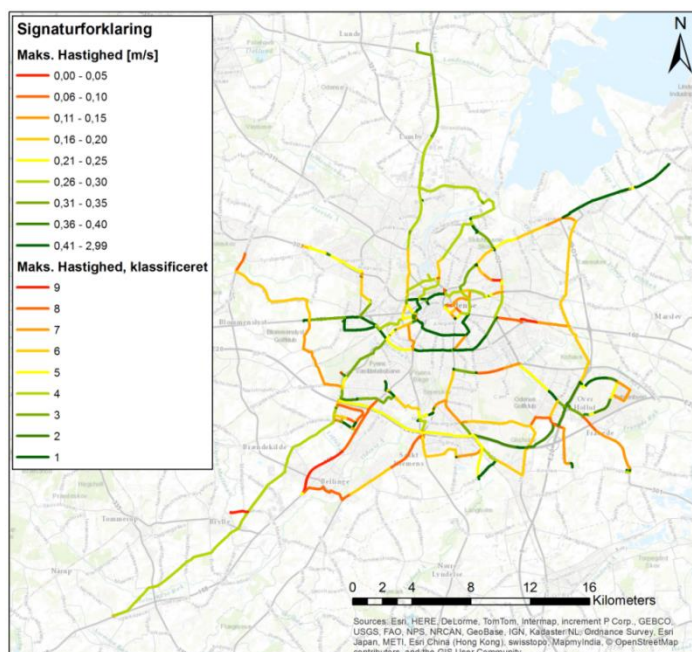
Det klassificerede rasterkort er beregnet for celledørrelsen 1x1 meter. Dette er meget små celler for et areal, der strækker sig over 40x40 km, og for at gøre det muligt at se resultatet af klassificeringen konverteres rasteren tilbage til vektor ved hjælp af **"Raster to Polyline"** (Tabel 6).

Som nævnt i afsnit 3.2, trin 2 er antallet af vandværker, der bidrager med vand i distributionssystemet, benyttet som direkte input til klassificering af parameteren "Vandets opblandingsgrad". Dette datalag har resulteret i en klassificering, der går fra et vandværk (irrelevant) til fire vandværker. Det betyder, at hvis denne parameter vægtes mod andre parametre vil vægtningen generelt resultere i lavere gennemsnit og parameteren kan blive nedprioriteret kontra parametre af klassen 9. Man kan derfor vælge at give laget en højere vægt (se afsnit 3.4, trin 4) eller vurdere parameteren for sig selv. Det samme gælder for andre parametre, der ikke nødvendigvis har ni klasser som fx "Rørets materiale". Værktøjer, der benyttes ved klassificering, er angivet i Tabel 6.

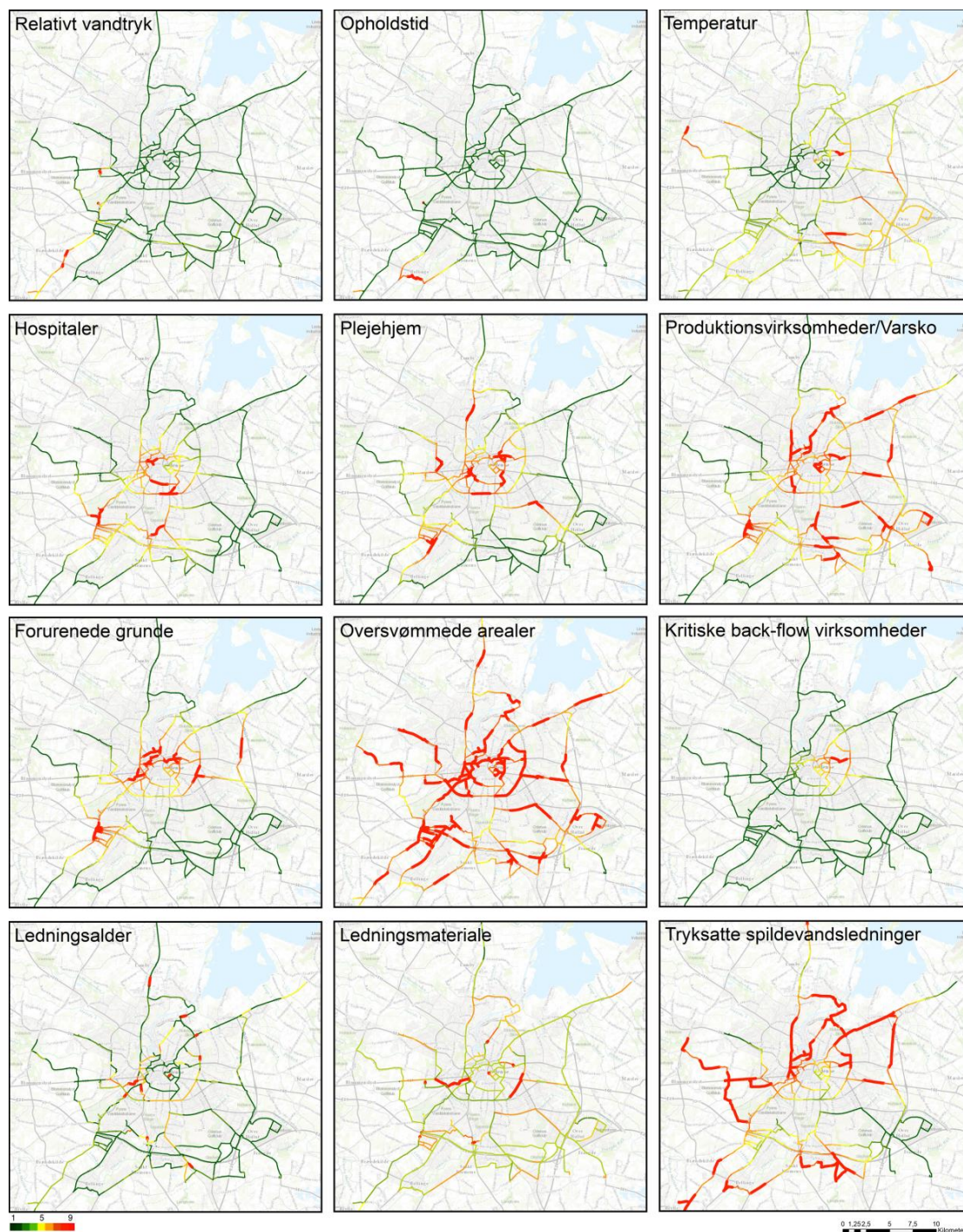
Tabel 6 Beskrivelse af ArcGIS værktøjer der er brugt til at klassificere data i GISMOVA – trin 3

ArcGIS Værktøj	Funktion
Reclassify	Om-klassificerer værdierne i en raster
Raster to Polyline	Konverterer raster-data til linje-data

Figur 7 viser klassificering af den maksimale hastighed for vandet i VCS' distributionssystem. Figur 8 viser klassificering af relativt vandtryk, opholdstid, temperatur, forurenede grunde, oversvømmede arealer, kritiske back-flow virksomheder, ledningsalder, ledningsmateriale, tryksatte spildevandsledninger, hospitaler, plejehjem og varskovirksomheder. Parallellprøver og vandets opblandingsgrad er vist på Figur 10 og 11.



Figur 7 Inddeling af vandets maksimale hastighed i 9 klasser, hvor klasse 9 udgør områder, der er specielt interessante at monitorer grundet meget lave maksimale hastigheder, og klasse 1 udgør områder, der er irrelevante for monitorering.



Figur 8 Klassificering af relativt vandtryk, opholdstid, temperatur, forurenede grunde, oversvømmede arealer, kritiske back-flow virksomheder, ledningsalder, ledningsmateriale, tryksatte spildevandsledninger, hospitaler, plejehjem og varsko-virksomheder.

3.4 Trin 4: Vægtning af lag indbyrdes

Værktøjet **"Weighted Overlay"** (Figur 9) bruges til at kombinere de identificerede parametre med henblik på at skabe et kort over egnede prøvetagningssteder. I denne metode bliver parametrene kombineret ud fra en lineært vægtet kombinationsmetode, hvor vægtene tilsammen udgør 100.

Afhængig af hvordan de enkelte parametre vægtes, vil der udpeges forskellige områder relevante for monitoring. Seks forskellige vægtningssæt repræsenterer hver sit monitoringsfokus (Tabel 7) og antallet af parametre varierer fra sæt til sæt for at illustrere flere analyse-muligheder.

Tabel 7 Relativ vægtning af parametre for hvert enkelt vægtningssæt

Datalag\Vægtningssæt	Parallel-prøver	Mix	Udkants-områder	Indsivnings-risiko	Hydrauliske udfordringer	Følsomme forbrugere
Parallelprøver	100					
Vandets opblandingsgrad		100				
Lave hastigheder					25	
Relativt vandtryk				16	25	
Opholdstid			50		25	
Temperatur			50		25	
Forurenede grunde				14		
Oversvømmede arealer				14		
Kritiske back-flow virksohmheder				14		
Ledningsalder				14		
Ledningsmateriale				14		
Tryksatte Spildevandsledninger				14		
Hospitaler						34
Plejehjem						33
Produktionsvirksohmheder/Varsko						33
Sum	100	100	100	100	100	100

Weighted overlay table

Raster	% Influence	Field	Scale Value
temp_reclass	50	VALUE	
		0	1
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		5	5
		6	6
		7	7
		8	8
		9	9
		NODATA	NODATA
aldr_reclass	50	VALUE	
		0	1
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		5	5

Sum of influence: 100 Set Equal Influence

Evaluation scale: 1 to 9 by 1 From To By

Output raster: C:\ArcGIS\VCS_RiskStyr\ResultatFiler_VCS\Raster\Weighted_Result\weight_Dist

Weighted overlay table

The weighted overlay table allows the calculation of a multiple-criteria analysis between several rasters.

Table:

- **Raster**—The input criteria raster being weighted.
- **% Influence**—The influence of the raster compared to the other criteria as a percentage of 100.
- **Field**—The field of the criteria raster to use for weighting.
- **Scale Value**—The scaled value for the criterion, as specified by the Evaluation scale setting. Changing these values will alter the values in the input rasters used in the overlay analysis. You can enter a value directly, or select from the drop-down list. In addition to numerical values, the following options are available:
 - **Restricted**—Assigns the restricted value (the minimum value of the evaluation scale set, minus one) to cells in the output, regardless of whether other input rasters have a different scale value set for that cell.
 - **NoData**—Assigns NoData to cells in the output, regardless of whether other input rasters have a different scale value set for that cell.

Evaluation scale—Select from a list of predefined evaluation scales. You can also define your own evaluation scale with the From, To, and By controls.

Set Equal Influence—Balances the percent influence of the input rasters equally and sums them to 100.

Figur 9 Værktøjet i ArcGIS der udfører den lineært vægtede kombination af parametrene.

3.5 Trin 5: Udpegning af optimale prøvetagningssteder

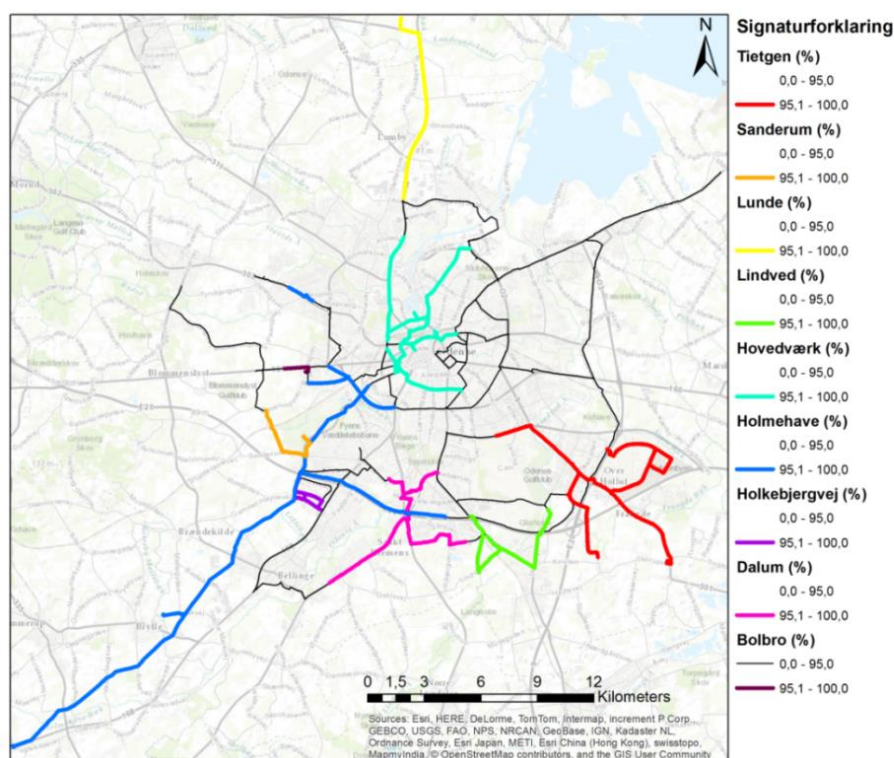
Eftersom GISMOVA-analysen for VCS' forsyningsområde kun inkluderer hovedledninger, opnås "kun" et kort over prioriterede prøvetagningssteder på hovedledningen. Det vil derfor kræve lidt mere efterarbejde at lokalisere de konkrete prøvetagningssteder, hvis VCS ønsker at placere prøvetagningsstedet indenfor en sektion, hvor vandet forsynes af de mindre forsyningsledninger.

Resultatet af analysen er et vægtet gennemsnit af de inkluderede parametre, og de resulterende klasser (1-9) er derfor et udtryk for sammenfaldet mellem de enkelte parametre. Figur 10-15 viser den fulde kortlægning af distributionssystemet, i forhold til vægtningsæt og tildelte klasser. Det er ikke muligt at se den præcise lokalitet for de højest prioriterede ledningsstrækninger på oversigtskortet, og der vil derfor i de følgende afsnit indgå vejnavne til at specificere de udvalgte ledningsstrækninger.

Afsnit 3.5.1-3.5.6 gennemgår de seks vægtningsæt præsenteret i Tabel 7, hvor klasse 9 har højeste prioritet og klasse 1 er irrelevant som prøvetagningssted.

3.5.1 Parallelprøver

"Parallelprøver" resulterer i et kort, der viser, hvor der næsten ingen opblanding er mellem forskellige vandkilder. Dette vægtningsæt indeholder kun én parameter og bruges til at udpege parallelprøvetagningssteder. Figur 10 viser kortet over mulige parallelprøvetagningssteder i VCS' distributionssystem.



Figur 10 Ledningsstrækninger hvor der i gennemsnit leveres mere end 95 % vand fra ét vandværk eller højdebeholder. Kortet gør det muligt at identificere områder i distributionssystemet til parallelprøvetagning.

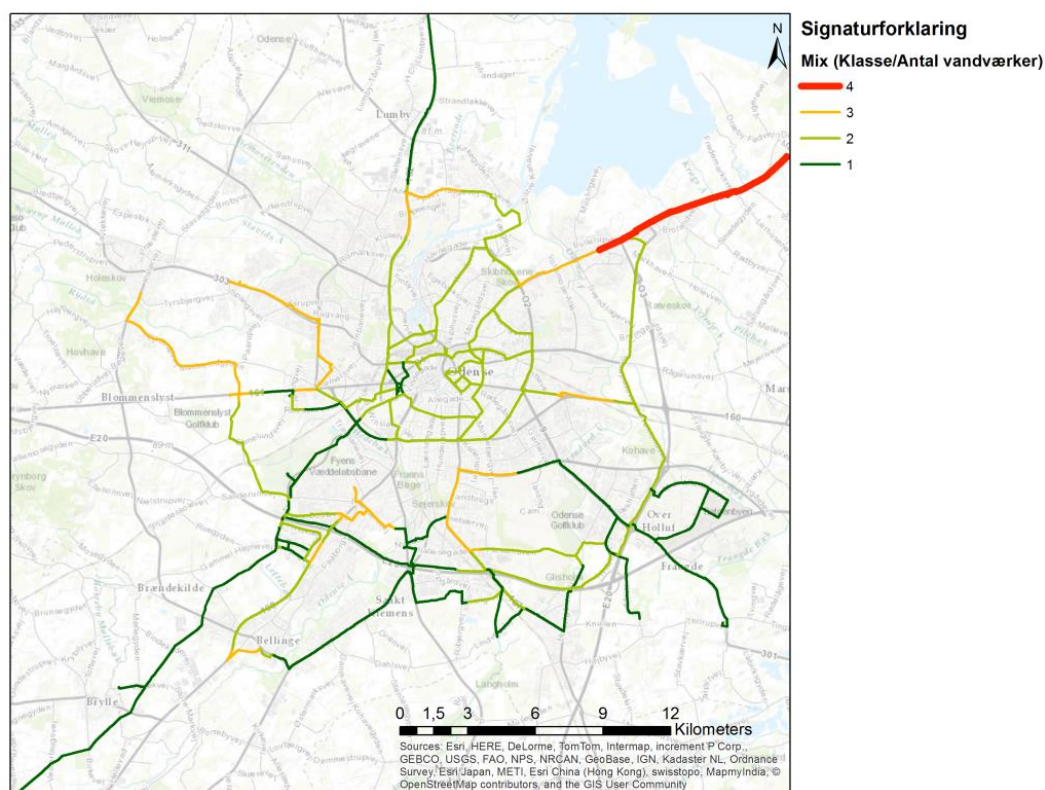
For VCS er der fundet ledningsstrækninger i systemet, hvor der i gennemsnit kommer mere end 95 % vand fra et enkelt vandværk eller en enkelt højdebeholder. Ved at placere to prøvetagningssteder i distributionssystemet af samme farve, er det muligt at foretage parallelprøvetagning. Ledningsstrækninger med farven sort kan ikke benyttes til parallelprøvetagning, da der her opblandes vand fra flere vandværker/højdebeholdere.

3.5.2 Mix

”Mix” viser antallet af vandværker, der bidrager med vand i hver enkel ledningsstrækning og angiver derved zoner med høj grad af opblandet vand. Denne vægtning indeholder kun én parameter, og bruges til at udpege strategiske prøvetagningssteder med fokus på opblandet vand. Selv et bidrag fra et vandværk/højdebeholder på 0,1 % vand ($> 0 \%$) inkluderes i analysen som et bidrag, og der kan derfor være strækninger, som overlapper med parallelprøve-kortet.

For at sikre at der ikke er overlap mellem de to kort, kan man enten for parallelprøver bestemme at der skal være et bidrag på 100 % vand fra ét vandværk/højdebeholder, for at det kan bruges til parallelprøvetagning, eller man kan definere et vandbidrag i mix som $> 5 \%$.

Figur 11 angiver, om der er vand fra et, to, tre eller fire vandværker/højdebeholdere blandet i ledningerne. Strækninger med vand fra kun et vandværk er irrelevante for denne parameter.



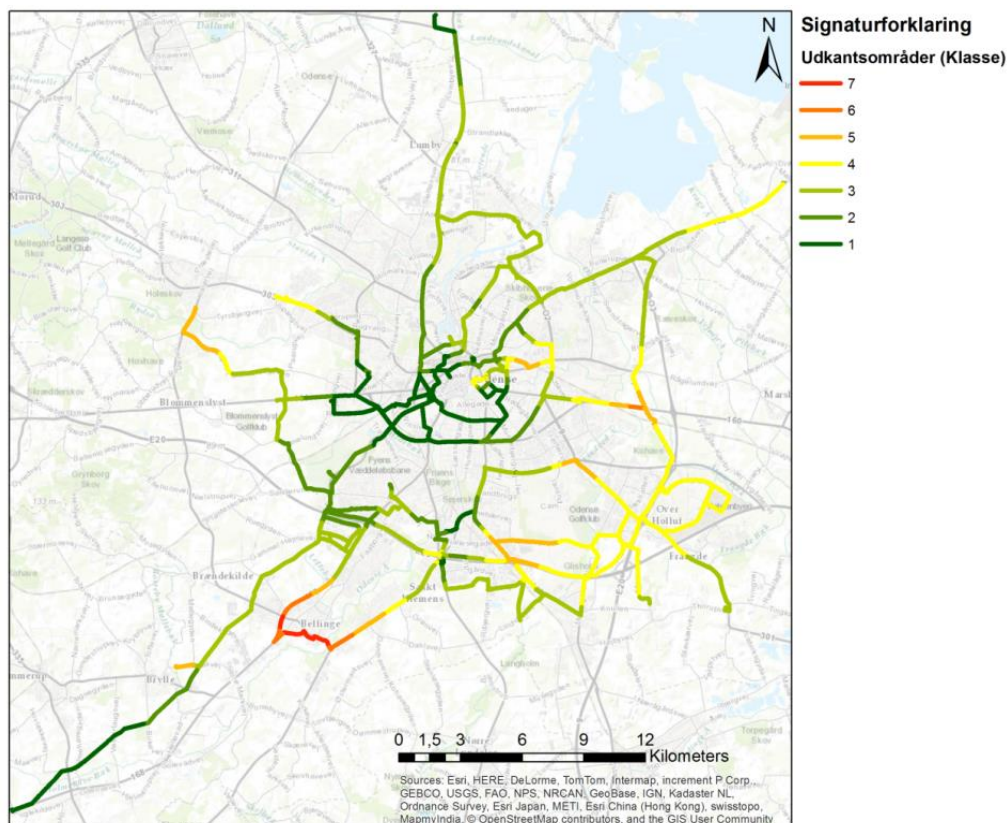
Figur 11 Antallet af vandværker eller højdebeholdere der bidrager med vand til distributionssystemet. Zoner med høj grad er opblandet vand er defineret som et strategisk relevant vægtningssæt.

3.5.3 Udkantsområder

Vægtningssættet "Udkantsområder" fokuserer primært på de parametre, der trækker prøvetagningsstedet ud i yderområdet af distributionssystemet, dvs. vandalder og temperatur. Denne vægtning er lavet for at tilgodese de borgere, der bor langt fra vandværker og højdebeholdere og sikrer en højere grad af geografisk spredning af prøvetagningsstederne.

Resultatet af dette vægtningssæt er vist på Figur 12. Det ses af resultatet, at det højeste vægtede gennemsnit er af klassen 7.

Ledningsstrækninger af klassen 7, er placeret ved Assensvej, Kirkelundvej og Brogårdsvej. Derudover er Borrebyværket og Sanderum højdebeholder også vægtet højt med karakteren 6, hvilket er et resultat af, at opholdstiden er lang (klasse 9), mens temperaturen er lav (klasse 3). Derudover er ledningsstrækningen ved Nyborgvej, hvor den krydser Staupudevej, vægtet højt.



Figur 12 Resultatet af vægtningen for vægtningssættet "Udkantsområder", angivet på en skala fra uegnet (grøn), til meget egnet (rød). Den højeste vægtede værdi, der fremkommer ved denne vægtning, er 7.

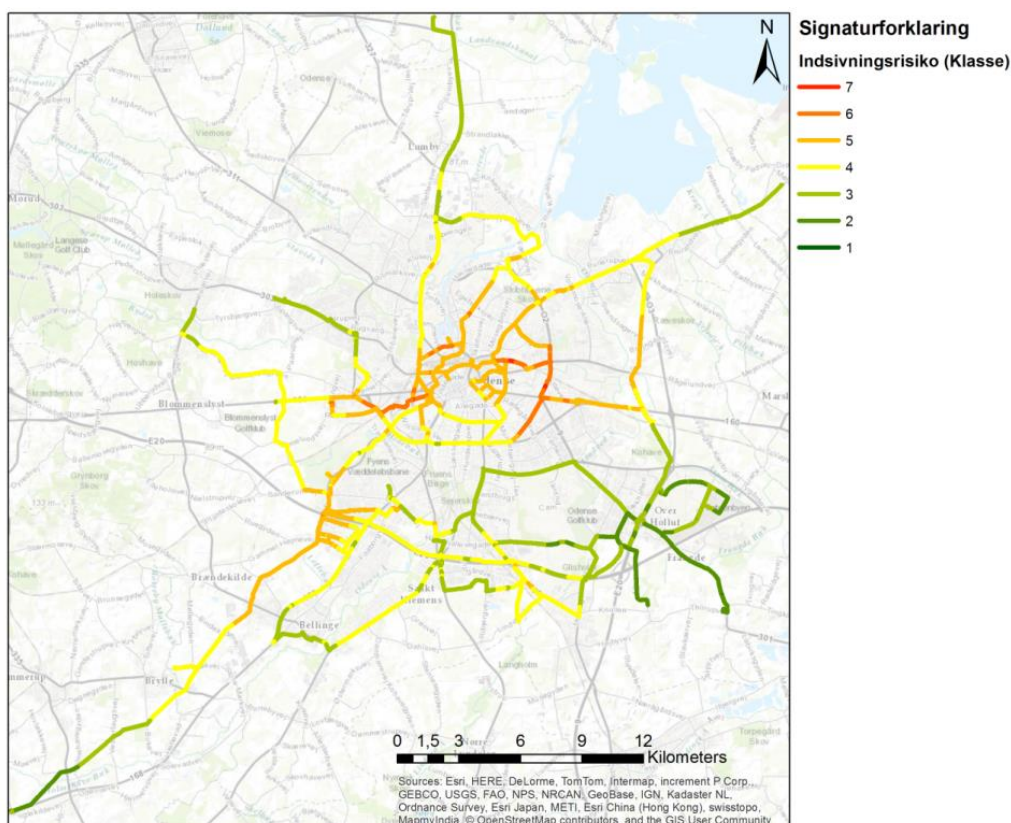
3.5.4 Indsivningsrisiko

"Indsivningsrisiko" repræsenterer de parametre, der udgør en trussel for indsivning af forurenat vand i drikkevandssystemet, såfremt flere parametre forekommer simultant. Dette er eksempelvis trykudsving eller lavt tryk, der gør det muligt for vand udefra at sive

ind. Hvis det sker et sted, hvor jorden er forurenet eller på anden måde udgør en trussel (oversvømmet område/tætplacerede spildevandsledninger), og ledningen samtidig er meget gammel eller er lavet i et materiale, hvor brudfrekvensen er høj, vil der være øget risiko for en forurening. Dette vægtningssæt forudsætter derfor sammenfald af flere parametre for at udgøre en reel trussel.

For "Indsivningsrisiko", er det højeste vægtede gennemsnit 7. Resultatet peger igen mod områder omkring centrum af Odense, nærmere bestemt Grønløkkevej/Roersvej, Østerbro og Ejbyvej, hvor den krydser med Vedbendgade (Figur 13).

Hvis man inddrager områder med klassen 6 inkluderes strækninger på Windelsvej, Toldbodgade, Elmelundsvej ved Bolbro højdebeholder og Dybdevej, samt strækninger nede ved Holkebjergvej (Figur 13).



Figur 13 Resultatet af vægtningen for vægtningssættet "Indsivningsrisiko", angivet på en skala fra uegnet (grøn), til egnet (rød). Den højeste vægtede værdi, der fremkommer ved denne vægtning, er 7.

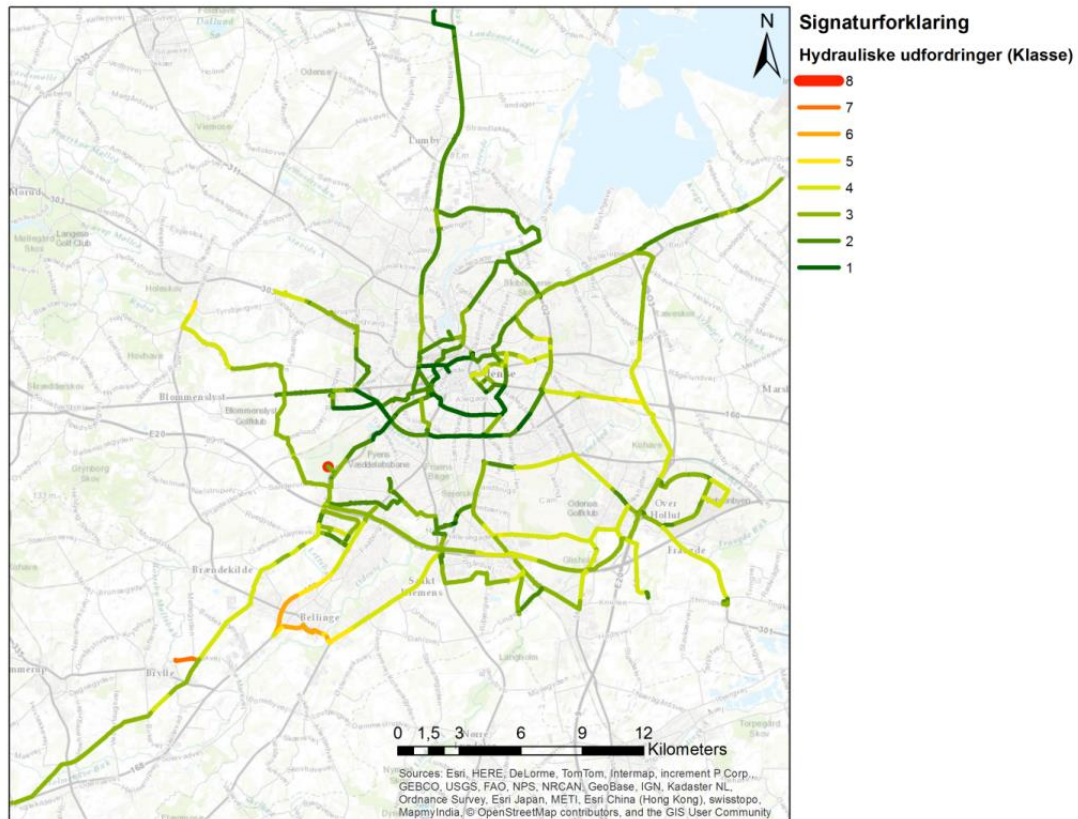
3.5.5 Hydrauliske udfordringer

"Hydrauliske udfordringer" dækker over lavt tryk, gammelt vand, høje temperaturer og lave hastigheder.

I den hydrauliske model er der beregnet meget lave hastigheder og tryk og høj opholdstid ved indløb til Sanderum højdebeholder og Borrebyværket (Figur 14). Strækningen ved Sanderum højdebeholder har derfor fået et vægtet gennemsnit på 8 og strækningen ved

Borrebyværket har fået et vægtet gennemsnit på 7. Vandværker og højdebeholdere vil altid indgå i en monitoringsstrategi, som "åbenlyse" prøvetagningssteder.

Det er derfor relevant at inddrage klasse 6 og 7 for at få udpeget yderligere strækninger med relevans i en monitoringsstrategi. Det er derfor relevant at overveje monitorering ved Assensvej, Kirkelundvej og Brogårdsvej, og ovre hvor Svendborgvej og den fynske motorvej krydser.



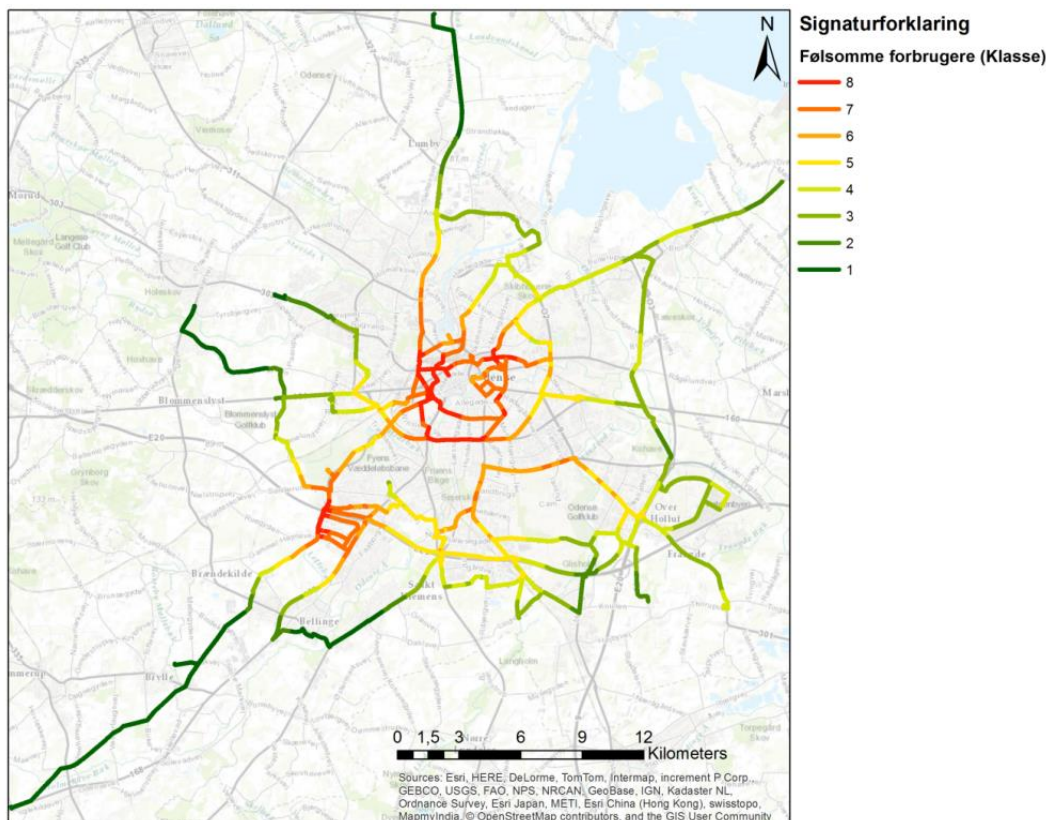
Figur 14 Resultatet af vægtningen for vægtningssættet "Hydrauliske udfordringer", angivet på en skala fra uegnet (grøn), til egnet/meget egnet (rød). Den højeste vægtede værdi, der fremkommer ved denne vægtning, er 8.

3.5.6 Følsomme forbrugere

Vægtningssættet "Følsomme forbrugere" viser resultatet af, at tilgodesee de følsomme forbrugere: Hospitaler, plejehjem og varsko-virksomheder.

Resultatet af vægtningssættet "Følsomme forbrugere" resulterer i mange strækninger med et vægtet gennemsnit på 8. Strækningerne inkluderer Ålykke Allé, Rugårdsvej, Jarlsberggade, Vandværksvej, Fælledvej og Kastanjevej, hele vejen ned til Odense Universitetshospital og Tietgens Allé. Derudover er der strækninger på Grønlandsgade, Østergade, Østerbro og Kragshøjvej, der alle ligger i forsyningszone 1.

I forsyningszone 2 er der adskillige strækninger omkring Holkebjergvej med klassen 8 (Figur 15).



Figur 15 Resultatet af vægtningen for vægtningssættet "Følsomme forbrugere", angivet på en skala fra uegnet (grøn), til egnet - meget egnet (rød). Den højeste vægtede værdi, der fremkommer ved denne vægtning, er 8.

3.6 Trin 6: Evaluering af udpegede prøvetagningssteder

Metode

I det følgende evalueres hvert vægtningssæt og de prøvetagningssteder de hver især udpeger. Der er for hvert vægtningssæt, som udgangspunkt, udpeget ét prøvetagningssted og for hvert sted, evalueres hvilke parametre og hvor mange forbrugere der er dækket?

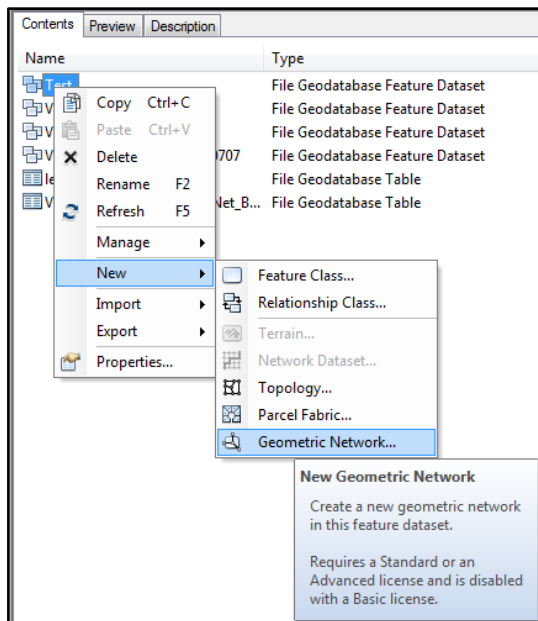
Vandets retning har ikke været en del af analysen frem til nu, da fokus har været på at lokalisere mulige trusler for vandets kvalitet og følsomheder i systemet. For at vurdere hvor mange forbrugere, der er berørt af en eventuel monitoringsstrategi, er det dog nødvendigt at kende befolkningstætheden samt vandets retning, for at kunne definere området, der dækkes nedstrøms. Tilsvarende vil identifikation af området opstrøms for prøvetagningsstedet være relevant for at identificere potentielle forureningskilder.

For at inkludere vandets retning i ArcGIS er det nødvendigt at skabe et geometrisk netværk, dvs. et sæt af forbundne vektorer, i form af linjer og punkter. Derudover er det nødvendigt at trække data fra den hydrauliske model ud, som definerer vandets retning. For VCS blev dette gjort for tidspunktet kl. 07.00 og 23.00. Af data ses, at vandet primært løber fra vandværker og højdebeholdere kl 07.00, mens det kl 23.00, i enkelte sektioner, løber til vandværker og højdebeholdere. Da vandprøver generelt tages i hverdage mellem 08.00-16.00, ville det være relevant at bruge flowdata fra dette tidsrum. For VCS er

flowdata fra kl 07.00 brugt, da dette bedst repræsenterer vandets retning i tidsrummet 8.00-16.00.

I tilfældet hvor der i Aquis er defineret positiv omløbsretning fra knude 1 til knude 2, vil vandets retning defineres af fortegnet. Når fortegnet er positivt, løber vandet fra knude 1 til knude 2, mens vandet ved negativt fortegn løber fra knude 2 til knude 1. Det er muligt at definere vandets flowretning ved hjælp af ArcGIS værktøjet **"Set Flow Direction"** (Tabel 8). Dette kan kun gøres for geometriske netværk og for hele systemet, og det er nødvendigt at ændre retningen på ledninger med negativt fortegn, så samtlige ledningsstrækninger løber fra knude 1 til knude 2. Ledninger bliver derfor delt op i 2 separate filer; positive og negative ledninger. For at vende retningen på ledningerne med negativt fortegn benyttes værktøjet **"Flip Line"** (Tabel 8). Samme fremgangsmåde vil gælde for Epanet og Mike Urban WS simuleringer.

Det geometriske netværk dannes i ArcCatalog. Først dannes et nyt **"Feature dataset"** (Figur 16, Tabel 8), hvortil distributionssystemets ledninger og knuder kopieres. Herefter er det muligt at lave et geometrisk netværk.



Figur 16 Illustration af hvordan man laver et geometrisk netværk i ArcCatalog, når man har lavet sit feature dataset indeholdende ledninger og knuder fra den hydrauliske model.

I ArcMap åbnes det geometriske netværk og analyseværktøjet **"Utility Network Analyst"** tilføjes i ArcMap's toolbar (Figur 17, Tabel 8). ArcGIS-værktøjet **"Set Flow Direction"** bruges til at definere vandets retning i det geometriske netværk (Figur 18, Tabel 8) og **"Utility Network Analyst"** gør det nu muligt at vise flow-retningen (Figur 19, Tabel 8).

Med **"Add junction Flag"** (Tabel 8) kan man placere "flag" i distributionssystemet, og værktøjet **"Trace Downstream/Upstream"** (Tabel 8) finder, ved hjælp af vandets retning, alle ledninger opstrøms eller nedstrøms punktet. Værktøjet indeholder supplerende analysemuligheder som fx "Find Common Ancestors" og "Find Loops".

Hvis det er muligt at skaffe data vedrørende forbrugere eller indbyggere, kan data med fordel inddrages i denne del af evalueringen af prøvetagningssteder. Såfremt hele distributionssystemet er inkluderet, kan man som tidligere benytte værktøjet **"Snap"** (Tabel 8) til at flytte forbrugerne ud på ledningen. Bemærk at man kan risikere, at forbrugeren herved flyttes til den forkerte ledning, da **"Snap"** flytter punktet til nærmeste ledning og denne ikke nødvendigvis er forsyningsledningen. Såfremt hele ledningsnettet er dækket, burde forbrugerne dog være placeret tæt på den aktuelle ledning.

Når man sætter sit flag, der angiver et prøvetagningssted, og følger vandets retning nedstrøms, kan man udvælge forbrugere, der er placeret på de ledninger, der er markeret ved nedstrøms-analysen (**"Select by location"**, Tabel 8).

Værktøjerne benyttet i GISMOVA - trin 6 og deres funktioner er beskrevet i Tabel 8.

Tabel 8 Beskrivelse af ArcGIS værktøjer der er brugt til at behandle data i GISMOVA – trin 6.

ArcGIS Værktøj	Funktion
Set Flow Direction	Indstiller strømningsretningen for et geometrisk netværk baseret på enten den digitaliserede retning eller indstillingerne "source/sink" i det geometriske netværk
Flip Line	Vender fra-til retningen på linje-data Man kan se retningen på linje-data ved at symbolisere linjerne med pilespidser
Feature Dataset	Et "Feature"-datasæt er en samling af beslægtede data, der deler et fælles koordinatsystem. Det primære formål er at organisere relaterede vektor-data i et fælles datasæt til opbygning af et topologisk datasæt, netværksdatasæt, terrændatasæt, eller et geometrisk netværk
Utility Network Analyst (Værktøjslinje)	"Utility Network Analyst" værktøjslinjen er opdelt i to sektioner. Den venstre side af værktøjslinjen bruges til at vælge det netværk, man ønsker at arbejde med, og til at vise strømningsretning. Den højre side af værktøjslinjen bruges til at oprette og udføre "tracing"-opgaver på det aktuelle netværk. For at tilføje værktøjslinjen til ArcMap: Klik på Tilpas > Værktøjslinjer > Utility Network Analyst
Add Junction Flag	Tilføjer et "junction" flag i netværket. I ArcMap definerer flag udgangspunktet for "tracing"
Trace Downstream/Upstream	Sporer vandets oprindelse (upstream) eller udløb (downstream) på grundlag af de flag, barrierer og specificeret vægt egenskaber der indsættes i netværket
Snap	Flytter punkter eller linjer, så der sker sammenfald med specificerede punkter, linjer eller knæpunkter
Select by location	Udpeger data fra et eller flere lag ud fra deres placering i relation til data i et andet lag

3.6.1 Evaluering af "Parallelprøver"

Vægtningssættet "Parallelprøver" indeholder kun en enkel parameter, og Figur 10 repræsenterer derfor resultatet af denne parameter/vægtning. Flere forsyninger mener,

at vurderingsgrundlaget for kontrol af drikkevandskvaliteten styrkes, når der foretages parallelprøver (Corfitzen et al. 2015). Ved at sammenholde resultatet af denne parameter med de resterende vægtningssæt er det muligt at kombinere forsyningens ønske om parallelprøver og monitoring med fokus på problematiske ledningsstrækninger. Dette kan være en fordel, hvis man har et stort geografisk område at dække og kun få prøvetagningssteder at placere.

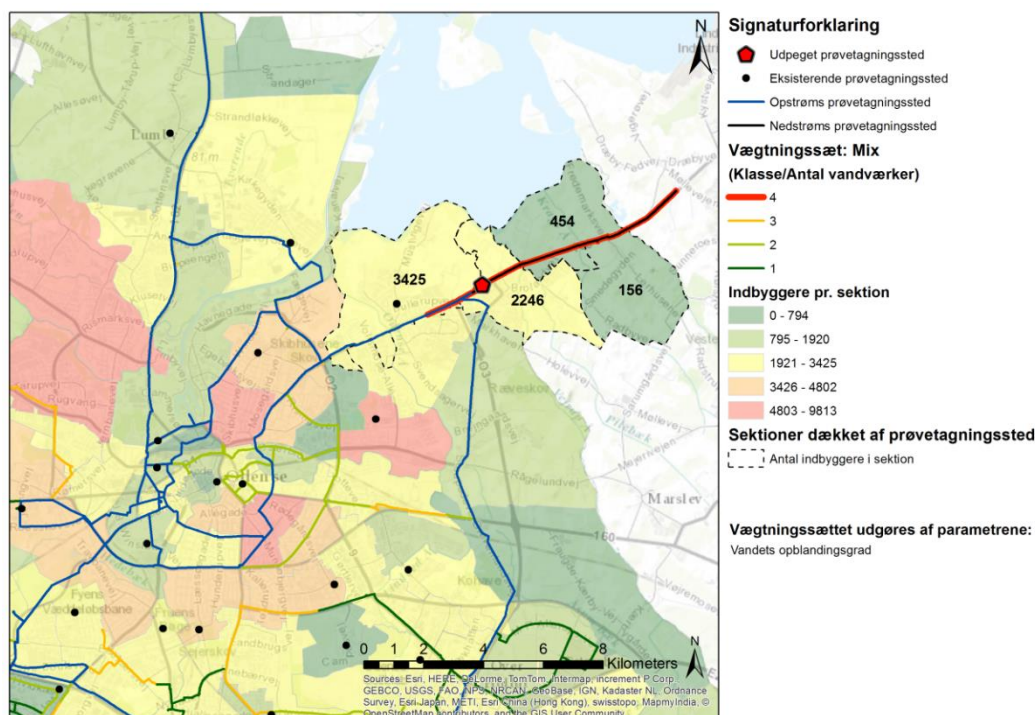
Der er i Tabel 9 nævnt, hvorvidt de udvalgte prøvetagningssteder egner sig som parallelprøvetagningslokalitet, og hvilket vandværk/højdebeholder, der kontrolleres.

3.6.2 Evaluering af "Mix"

"Mix" indeholder også kun en enkelt parameter. Figur 11 kan derfor vurderes med henblik på at finde et strategisk prøvetagningssted isoleret set eller i kombination med et prøvetagningssted fra et andet vægtningssæt.

Figur 20 viser, hvordan parameteren er blevet brugt til at identificere et strategisk prøvetagningssted med fokus på at kontrollere vand med høj grad af opblanding. Prøvetagningsstedet er placeret på den eneste ledningsstrækning med vand blandet fra fire forskellige vandværker: Holmehave (25 %), Hovedværket (12 %), Lindved (58 %) og Lunde (5 %). Der er ikke noget eksisterende prøvetagningssted, der dækker denne parameter, og det vil ikke være muligt at udføre parallelprøver ved denne lokalitet.

Dette prøvetagningssted dækker ca. 6000 indbyggere nedstrøms og 4 sektioner (Tabel 9).



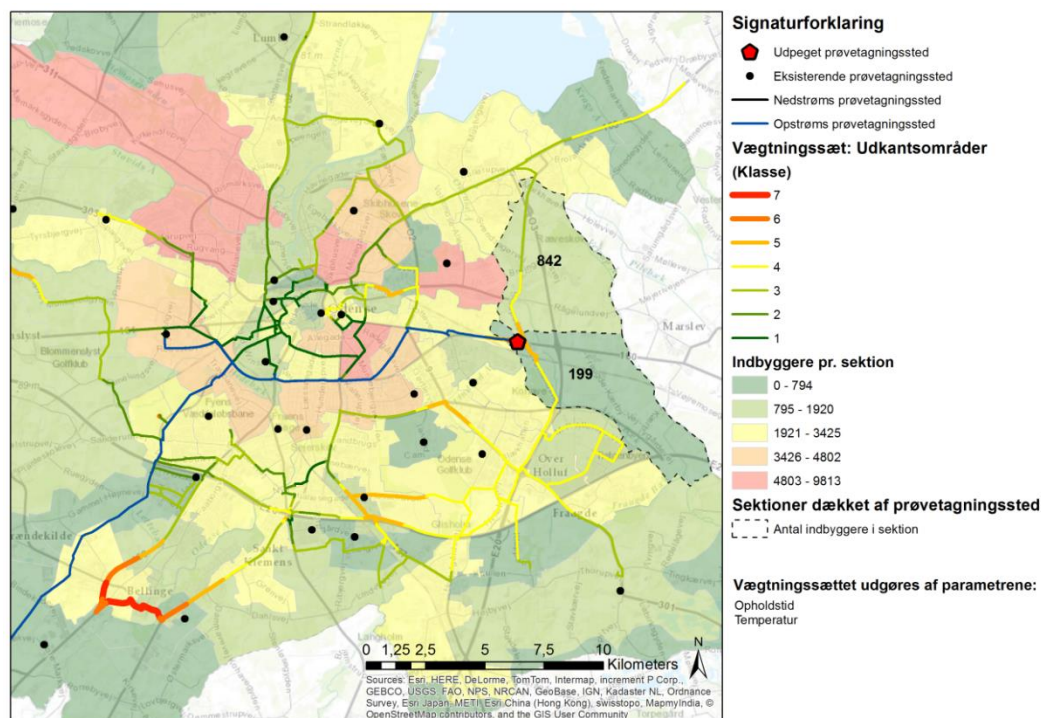
Figur 20 Vægtningssættet "mix" er brugt til at udpege et prøvetagningssted (rød pentagon). Derudover, ses de sektioner og antallet af indbyggere i hver sektion, der er dækket af prøvetagningsstedet. Med blå ses hele det opstrøms-liggende distributionssystem og med sort er angivet det nedstrøms-liggende system.

3.6.3 Evaluering af "Udkantsområder"

Ved hjælp af et geometriske netværk og værktøjet "Utility Network Analyst" er det muligt at vurdere det udpegede prøvetagningssted ud fra hvilke parametre, der kontrolleres og hvor mange forbrugere, der bliver dækket. Vandets opholdstid og temperatur er de to parametre, der er inkluderet i vægtningssættet og da der højst nås en vægtet klasse på 7, er der ikke sammenfald mellem de to parametre og deres allermest kritiske lokaliteter. Nedenfor er vist med lysegrøn det udpegede prøvetagningssted (klasse 6). Der er primært problemer med temperaturen (klasse 8), mens opholdstiden er relativ lav (klasse 3). Det udvalgte prøvetagningssted dækker en meget lille ledningsstrækning i et område, der ikke er tæt befolket. Der er dog ingen eksisterende prøvetagningssteder i området (Figur 21). Det udpegede prøvetagningssted dækker ca. 1000 indbyggere nedstrøms og 2 sektioner (Tabel 9).

Alternativerne til det udvalgte prøvetagningssted er ved Borrebyværket og Sanderum højdebekholder, eller i strækningen der løber rundt om Bellinge.

Det er ikke muligt at udføre parallelprøver i den udvalgte lokalitet (se Figur 10), men prøvetagningsstedet er til gengæld relevant at kontrollere i henhold til strækninger med høj grad af blandet vand (Figur 11).

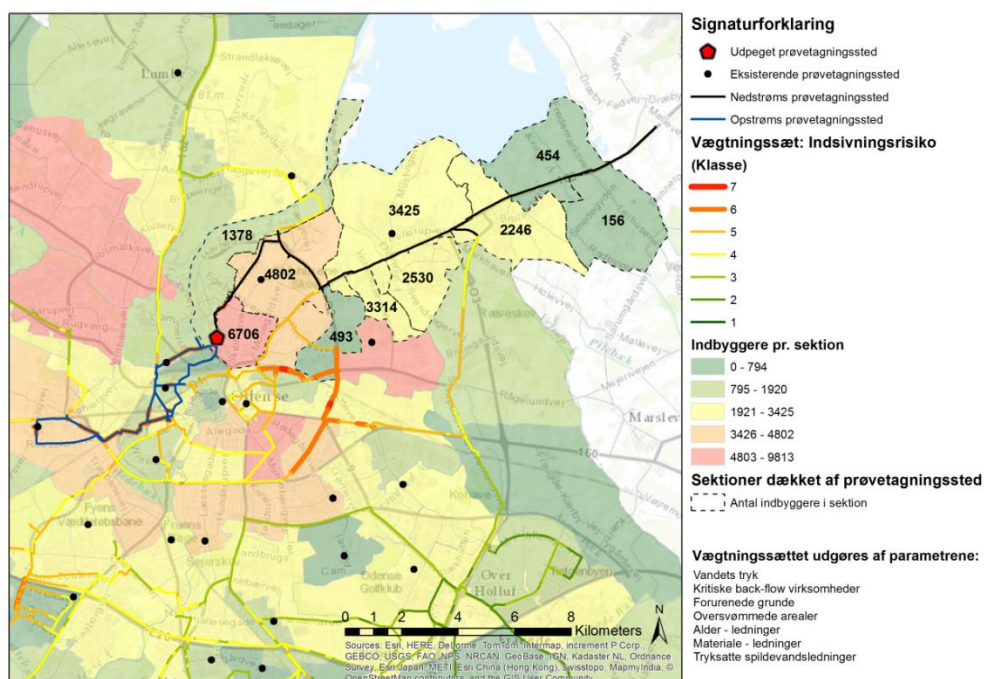


Figur 21 Vægtningssættet "udkantsområder" er brugt til at udpege et prøvetagningssted (rød pentagon). Derudover, ses de sektioner og antallet af indbyggere i hver sektion, der er dækket af prøvetagningsstedet. Med blå ses hele det opstrøms-liggende distributionssystem og med sort er angivet det nedstrøms-liggende system.

3.6.4 Evaluering af "Indsivningsrisiko"

Indsivningsrisiko er det vægtningssæt, der inkluderer flest parametre: Relativt vandtryk, forurenede grunde, oversvømmede arealer, kritiske back-flow virksomheder (renseanlæg), ledningsalder, ledningsmateriale og tryksatte spildevandsledninger. På baggrund af vægtningssættet, er der udpeget et prøvetagningssted placeret på Tolderlundsvej. Figur 22 viser det udpegede prøvetagningssted. Stedet er placeret lige nedstrøms flere ledningsstrækninger markeret for "Indsivningsrisiko". Det er relevant at kontrollere kvaliteten af vandet nedstrøms et område, der er indsivningstruet. Blå angiver de ledningsstrækninger, der bidrager med vand til prøvetagningsstedet og med sort er den nedstrøms-liggende strækning angivet, der vil være dækket af prøvetagningsstedet. Det udpegede prøvetagningssted dækker 25.504 indbyggere nedstrøms og 10 sektioner (Tabel 9).

Der er allerede eksisterende prøvetagningssteder i to af de nedstrøms beliggende sektioner, men man kan evt. overveje at placere et nyt punkt tættere på de ledningsstrækninger med risiko for indtrængende vand. Samtlige parametre, der hører under kategorien "Trusler", er karakteriseret ved en høj klasse (8-9). Der er ikke så store problemer med lavt tryk helt henne ved prøvetagningsstedet (klasse 1), men opstrøms i nærheden af Bolbro højdebeholder er der ledningsstrækninger af klasse 9. Der er også en længere ledningsstrækning med indsivningsrisiko ved Østerbro, ned ad Åsumvej og langs Ejbygade. VCS har et prøvetagningssted placeret ved Humlehaveskolen, der dækker denne strækning. Det udpegede prøvetagningssted kan benyttes til parallelprøvekontrol af Hovedværket.

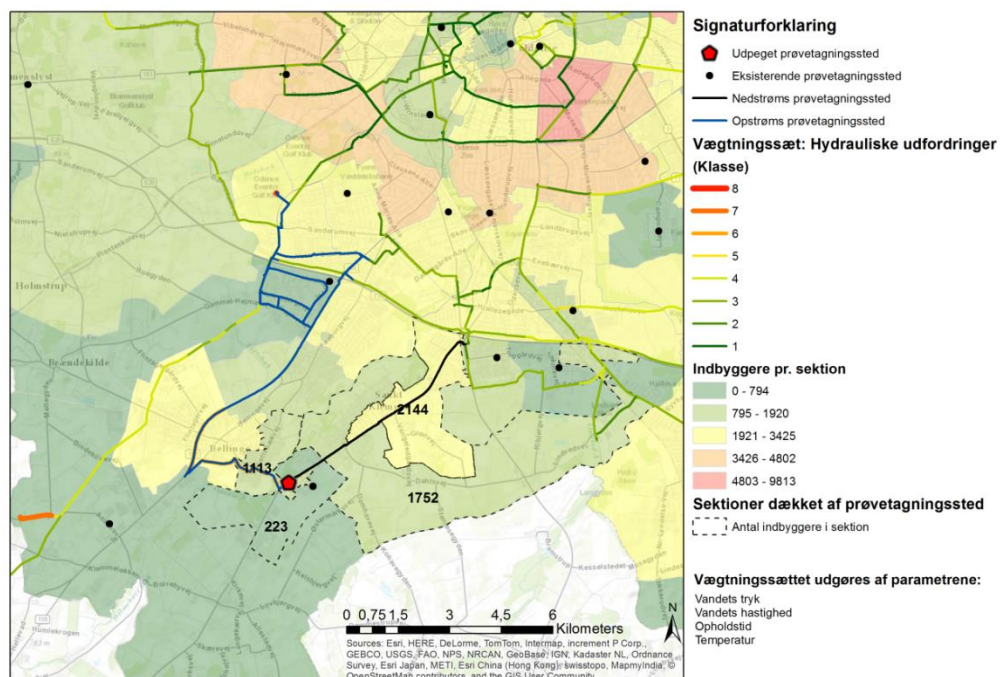


Figur 22 Vægtningssættet "indsivningsrisiko" er brugt til at udpege et prøvetagningssted (rød pentagon). Derudover, ses de sektioner og antallet af indbyggere i hver sektion, der er dækket af prøvetagningsstedet. Med blå ses hele det opstrøms-liggende distributionssystem og med sort er angivet det nedstrøms-liggende system.

3.6.5 Evaluering af "Hydrauliske udfordringer"

Vægtningssættet "Hydrauliske udfordringer" omfatter parametrene: Lave hastigheder, relativt vandtryk, opholdstid og temperatur. Figur 23 viser det udpegede prøvetagningssted for "Hydrauliske udfordringer". Prøvetagningsstedet er placeret lige nedstrøms de markerede ledningsstrækninger, da det er relevant at kontrollere kvaliteten af vandet nedstrøms et område, hvor risiko for dårlig vandkvalitet er forhøjet.

Ved at sammenligne resultatet fra klassificering af de enkelte parametre (Figur 8) ses det, at der i det udvalgte område er problemer med lave hastigheder og vandets alder. Med hensyn til temperatur klassificeres området i intervallet 4-5 og for relativt vandtryk er området irrelevant (klasse 1). Alternativerne til dette prøvetagningssted er ligesom for "Udkantsområder" ved Borrebyværket og Sanderum højdebeholder. Også krydset mellem Svendborgvej og den Fynske motorvej er en mulighed. I det sidste punkt er der problemer med hastighed (klasse 9), temperatur (klasse 8) og tryk (klasse 4), mens vandets opholdstid er under grænseværdien på 48 timer. Et eksisterende prøvetagningssted findes i nærheden af det foreslåede prøvetagningssted (Figur 23) og i betragtning af vandets retning monitoreres vandet allerede for de parametre GISMOVA-analysen har belyst. GISMOVA kan altså også bruges til at dokumentere vigtigheden af allerede fastlagte prøvetagningssteder. Det udvalgte prøvetagningssted ligger ikke placeret til at kunne udføre parallelprøver. Rykkes prøvetagningsstedet en anelse længere nedstrøms er det muligt at udføre parallelprøver med henblik på at kontrollere vandet fra Dalumværket (Figur 10). Dette prøvetagningssted dækker ca. 4000 indbyggere nedstrøms og 4 sektioner (Tabel 9).



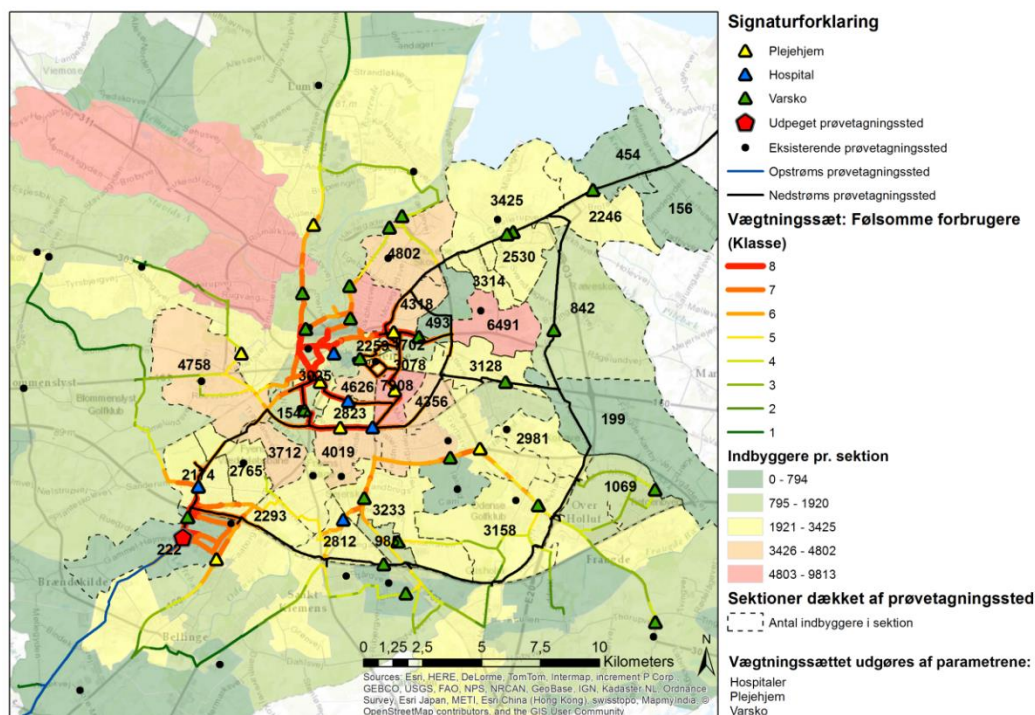
Figur 23 Vægtningssættet "hydrauliske udfordringer" er brugt til at udpege et prøvetagningssted (rød pentagon). Derudover, ses de sektioner og antallet af indbyggere i hver sektion, der er dækket af prøvetagningsstedet. Med blå ses hele det opstrøms-liggende distributionssystem og med sort er angivet det nedstrøms-liggende system.

3.6.6 Evaluering af "Følsomme forbrugere"

Det udvalgte prøvetagningssted for vægtningssættet "Følsomme forbrugere" er vist med en rød pentagon, og markeret med rød er vist samtlige ledningsstrækninger, der har fået karakteren 8 under vægtningen - altså alternative prøvetagningssteder (Figur 24). Prøvetagningsstedet er placeret lige opstrøms de markerede ledningsstrækninger for følsomme forbrugere, da det er relevant at sikre, at vandet der når de følsomme forbrugere er af god kvalitet. Det ses, at prøvetagningsstedet er placeret umiddelbart opstrøms et hospital og varsko-virksomhed, og at adskillige andre plejehjem, hospitaler og varsko-virksomheder er dækket.

Det er et meget stort område, der dækkes nedstrøms prøvetagningsstedet i krydset mellem Holkebjergvej/Gammel Højmevej. Det betyder, at et stort opland, med mange indbyggere er sikret god drikkevandskvalitet såfremt drikkevandsanalyserne testes negative for skadelige organismer og stoffer. Antallet af indbyggere og sektioner, der dækkes af valgte prøvetagningssted, er henholdsvis 97.903 og 35 (Tabel 9).

Ved at sammenholde det valgte prøvetagningssted med kortet over parallelprøver (Figur 10) ses det, at det er muligt med det udvalgte prøvetagningssted at have fokus på følsomme forbrugere og samtidig udføre parallelprøver, der dækker vand fra vandværket Holmehave.



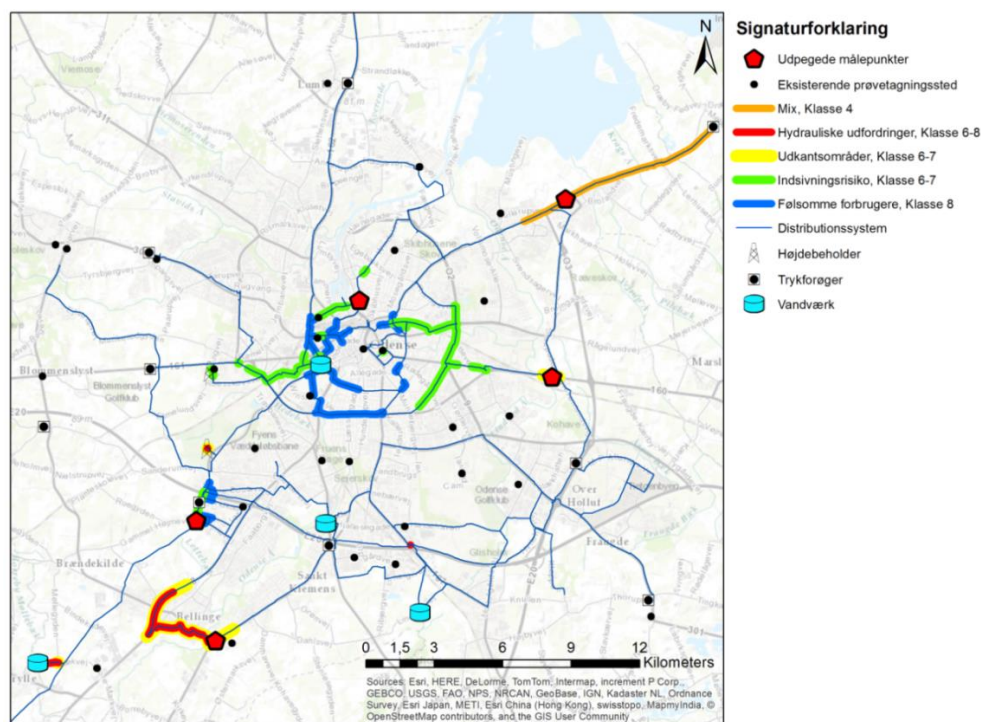
Figur 24 Vægtningssættet "følsomme forbrugere" er brugt til at udpege et prøvetagningssted (rød pentagon). Derudover, ses de sektioner og antallet af indbyggere i hver sektion, der er dækket af prøvetagningsstedet. Med blå ses hele det opstrøms-liggende distributionssystem og med sort er angivet det nedstrøms-liggende system. Plejehjem, hospitaler og varsko er illustreret med trekanten i henholdsvis gul, rød og grøn.

3.6.7 Opsummering af ny-udpegede prøvetagningssteder

På baggrund af GISMOVA er der nu udpeget fem alternative prøvetagningssteder.

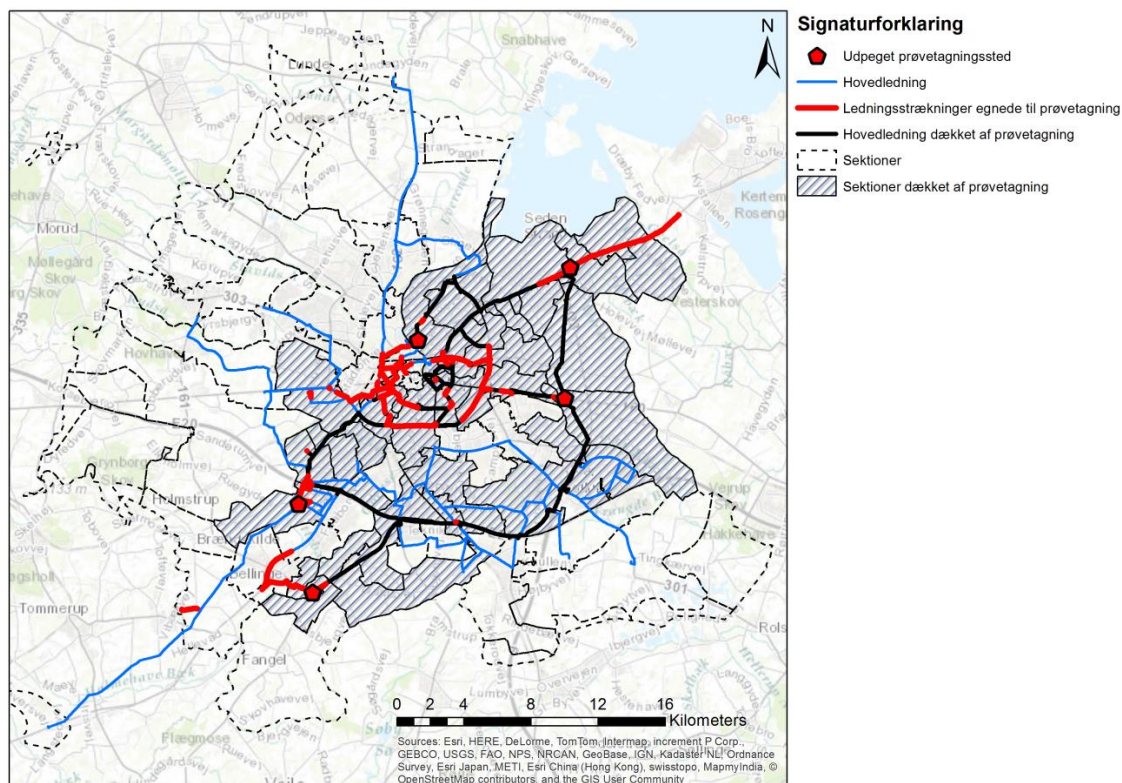
De udvalgte prøvetagningssteder, de højest vægtede ledningsstrækninger og de eksisterende prøvetagningssteder er vist nedenfor (Figur 25). Det ses, at primært følsomme forbrugere og strækninger med risiko for indsigning er placeret i centrum af Odense. Dette er i overensstemmelse med de mange følsomme forbrugere placeret i centrum af Odense og den større andel af gamle ledninger, oversvømmede arealer og forurenede grunde. De tre sidste kategorier spredt prøvetagningsstederne over et større geografisk område.

Ifølge danske og internationale anbefalinger til monitorering af vandkvalitet i distributionssystemet, er det vigtigt at fordele prøvetagningsstederne jævnt ud i distributionssystemet, for at dække så meget af systemet som muligt. Resultatet af GISMOVA viser dog at det kan være relevant at prioritere flere prøver i byens centrum, hvor der ofte er flere følsomheder og trusler og hvor den generelle befolkningstæthed er størst.



Figur 25 Strækninger der er vægtet højest i de fem vægtningsæt: Mix, Hydrauliske udfordringer, Udkantsområder, Indsigingsrisiko og Følsomme forbrugere er illustreret med henholdsvis orange, rød, gul, grøn og blå. De fem udpegede prøvetagningssteder er vist sammen med de allerede eksisterende prøvetagningssteder.

For at få et overblik over omfanget af sektioner og ledningsstrækninger, der er dækket af de fem prøvetagningssteder, er de blevet kortlagt (Figur 26).



Figur 26 Strækninger der er vægtet højest i de fem vægtningssæt og de fem udpegede prøvetagningssteder er vist med rød. De sorte ledninger og grå-stribede sektioner angiver de ledningsstrækninger/sektioner der er placeret nedstrøms de fem prøvetagningssteder.

Generelt, illustreres GISMOVAs funktionalitet med hensyn til at vurdere dækningsgrad af en monitoringsstrategi. De 5 prøvetagningssteder dækker 41 ud af 99 sektioner (private sektioner og sektioner under VCS). Tilsvarende er 57 % af samtlige indbyggere dækket. Det er klart at disse tal er høje, når prøverne udtages på hovedledningen som forsyner store dele af området og dækningsgraden vil reduceres, hvis prøverne udtages på forsyningsledningerne. Det vil også være relevant at placere flere prøvetagningssteder indenfor det dækkede område, for at opnå bedre sporingsmuligheder.

Der er stadig store dele af distributionssystemet, der ikke er dækket, og det kan være relevant for VCS, at lave alternative vægtningssæt eller kigge på parametrene enkeltvis for at finde lokaliteter, der dækker de parametre, der ikke er så vel-dækket af de fem punkter, fx vandets relative tryk (Tabel 9).

Tabel 9 samler resultatet af de 5 monitoringslokaliteter og skitserer antallet af indbyggere, der er placeret indenfor de repræsentative sektioner, samt om lokaliteten er velegnet til parallelprøvetagning, baseret på vægtningssættet "Parallelprøver" (Figur 10).

Tabel 9 Evaluering af prøvetagningssteder udvalgt på baggrund af de 5 vægtningssæt. Det 6. vægtningssæt er inddraget ved at vurdere om prøvetagningsstedet er velegnet til parallelprøvetagning.

Vægtningssæt	Udkantsområder	Mix	Indsivningsrisiko	Følsomme forbrugere	Hydrauliske udfordringer
Adresse	Nyborgvej/ Staupudevej	Kertemindevej	Tolderlundsvej	Holkebjergvej/ Gammel Højmevej	Brogårdsvej/ Stenløsevej
Parameter der dækkes af prøvetagningsstedet	Temperatur (klasse 8) Opholdstid (klasse 3)	Vandets opblandingsgrad (klasse 4)	Forurenede grunde (klasse 9) Oversvømmede arealer (klasse 8-9) Alder ledning (klasse 9) Alder materiale (klasse 9) Tryk (klasse 1) Tryksatte spildevandsledninger (klasse 9)	Hospitaler (klasse 8) Plejehjem (klasse 8) Varsko (klasse 9)	Temperatur (klasse 4-5) Tryk (klasse 1) Opholdstid (klasse 9) Hastighed (klasse 9)
Indbyggere	1.041	6.281	25.504	97.903	4.119
Antal sektioner	2	4	10	35	4
Eksisterende prøvetagningssted inden for området	Nej	Nej*	2 (men længere nedstrøms)	12 (men ikke i umiddelbar nærhed)	1
Mulighed for parallel prøvetagning	-	-	Hovedværket	Holmehaveværket	-

*Der eksisterer et prøvetagningssted indenfor området, men det er placeret opstrøms den kritiske ledningsstrækning.

4 Diskussion

VCS har 33 prøvetagningssteder udover prøvetagningssteder placeret ved vandværker og højdebeholdere (Møllerup 2014). Der er ikke i denne demonstration af GISMOVA fundet 33 alternative prøvetagningssteder, men brugen af værktøjet er illustreret ved udpegning af ét punkt for hvert af de vejledende vægtningssæt.

Vandforsyningsmodellen for VCS inkluderer kun hovedledninger. Det er generelt ikke på hovedledningen, at vandprøver i VCS udtages, og det er derfor svært at sammenligne resultatet med eksisterende prøvetagningssteder. Hvis GISMOVA benyttes på et system, der inkluderer forsyningsledninger, kan man direkte sammenligne eksisterende og nye prøvetagningssteder. Manglende forsyningsledninger har også betydet, at i stedet for at "flytte" befolkningen ud på ledningen (jf. afsnit 3.6.1), er der for VCS benyttet digitalisering af sektionerne til at finde antallet af indbyggere bosiddende indenfor sektionen. Tallene for indbyggere i Tabel 9 bygger derfor på antallet af indbyggere i de respektive sektioner. Ved denne metode risikerer man at medregne indbyggere, der reelt er placeret opstrøms prøvetagningsstedet. Antallet af indbyggere som er dækket af et eventuelt prøvetagningssted er dog kun vejledende for om den valgte monitoringsstrategi dækker bredt. Det vurderes derfor som værende mindre betydende, om det eksakte antal indbyggere findes. VCS kan tjekke, at det rette antal indbyggere er "forbundet" korrekt, ved at inddrage informationer om stik- og forsyningsledninger.

Det vil være nødvendigt manuelt at sikre, at hospitaler, plejehjem og varsko-virksomheder er forbundet til den rette forsyningsledning med ArcGIS's "snap tool". Herved sikres det, at prøvetagningsstedet er placeret i forbindelse med den følsomme forbruger. Fejl i forbindelserne kan påvirke resultatet.

Når vektor-data konverteres til raster-data, går informationer om sammenhæng tabt, og hele netværket simuleres som et fælles forbundet netværk, på trods af at adskillige ledninger krydser hinanden uden at være forbundne. Dette resulterer i at vandet, i analysen, kan bevæge sig frit i netværket, mens vandet i virkeligheden er begrænset til at løbe i de ledninger, der er i direkte forbindelse med hinanden. Dette kan resultere i, at kort der beregnes vha. af værktøjet "pathdistance" er fejlbehæftede. Det gør sig fx gældende for vægtningssættene "Indsivningsrisiko" og "Følsomme forbrugere", der inkluderer parametre behandlet med "pathdistance". Heraf er det primært "Følsomme forbrugere" som VCS skal være opmærksom på, da sættet udelukkende består af punkt-data.

Det er også vigtigt at pointere, at de seks vægtningssæt (Tabel 7) er vejledende, og det kan være at VCS finder, at kombinationen af andre parametre er mere relevante. Fx kan det for VCS være relevant at kombinere parametrene "Ledningsalder" og "Ledningsmateriale" for at finde gamle ledninger, der er sammenfaldende med ledninger, der har vist sig at have en høj brudfrekvens. Grænseværdien for de identificerede parametre er også vejledende, og såfremt forsyningen mener at disse værdier bør ændres for bedre at repræsentere en trussel eller følsomhed, udføres dette nemt i GISMOVA. Grænseværdierne er baseret på litteratur og er her valgt for at sikre en enkel sammenligning af GISMOVA analyser på tværs af forsyninger.

5 Konklusion og anbefalinger til VandCenter Syd

Med GISMOVA er det muligt, at identificere kritiske ledningsstrækninger, her eksemplificeret i VCS' distributionssystem med fokus på forskellige udfordringer. Der er blevet udpeget fem områder af høj prioritet for en monitoringsstrategi i VCS, og disse er blevet evalueret i henhold til effekt og omfang. Analysen viste, at allerede eksisterende prøvetagningssteder dækker flere kritiske parametre, og værktøjet kan, udover at finde nye prøvetagningssteder, validere valget af eksisterende prøvetagningssteder.

Vægtning af parametre er velegnet til at udpege prøvetagningssteder med et specifikt fokus og med flere parametre repræsenteret i ét punkt – dette er yderst relevant, hvis man skal placere ganske få prøvetagningssteder i et geografisk stort område. For VCS kan det være relevant at udpege et prøvetagningssted specifikt for fx tryk, som ikke er vel-repræsenteret i de udvalgte prøvetagningssteder (jf. Tabel 10). Kortlægning af de klassificerede parametre viser, at det er meget store dele af distributionssystemet, der har klassen 9, og parametrene kan derfor bruges individuelt til at finde prøvetagningssteder, der hjælper med at sprede placeringen ud i et større geografisk område. Danske og internationale anbefalinger lægger vægt på stor geografisk spredning af vandforsyningens prøvetagning. GISMOVA har dog vist, at det kan være relevant at prioritere flere prøver i centrum, hvor flere følsomheder og trusler er placeret og hvor den generelle befolkningstæthed er størst.

Kortlægningen har skabt overblik over distributionssystemet og dets forbrugere, hvilket VCS kan drage nytte af under en beredskabssituation eller som beslutningsstøtte ved placering af on-line sensorer eller sekundære hygiejniske barrierer i distributionssystemet. Alternativt, kan kortene benyttes under anlægsarbejde til at sammenstille viden om distributionssystemet og anlægstrace, hvilket kan forhindre graveuheld eller placere prøvetagningssteder i forbindelse med midlertidige kampagneprøver.

VCS har stort fokus på parallelprøvetagning for at validere resultaterne af kontrollerne. GISMOVA har vist, at det er muligt at have fokus på parallelprøvetagning, samtidig med at der også fokuseres på andre vandkvalitetsparametre. Herved opnås bedre udnyttelse af de relativt få prøver, der udføres.

Når prøvetagningsstederne er valgt, er det nødvendigt at vurdere, hvilke punkter der skal være faste, hvilke der skal fungere som stikprøver og hvilke punkter der kun er sæsonrelevante. Ifølge dansk og international vejledning (Larsen et al. 2015) er der næsten lige så stor vægt på stikprøver som på faste lokaliteter. Nogle parametre er mere relevante som stikprøve-prøvetagningssteder, fx er oversvømmede arealer kun relevante efter større regnhændelser, til gengæld kan kontinuerlige måleserier ved disse lokaliteter bruges til at dokumentere effekten af oversvømmelser. Sådanne overvejelser må nødvendigvis indgå i den endelige monitoringsstrategi, når prøvetagningsstederne er identificeret. Det bliver også nødvendigt at finde et passende tappested i nærheden af de udpegede områder, da både den danske og internationale vejledning anbefaler tappesteder med god tilgængelighed og højt forbrug henover hele året, også i weekenden.

Den endelige monitoringsstrategi er derfor ikke tilendebragt ved hjælp af GISMOVA, men metoden udpeger områder af relevans og giver dokumentationen for valget.

6 Referencer

- Corfitzen, C.B., Christensen, S.C.B., Albrechtsen, H.-J., Jacobsen, P., Møllerup, F., Lind, S., 2015. Fra kontrol til styring – risikovurdering i vandforsyningen Et innovationsprojekt under det strategiske partnerskab Vand i Byer.
- Larsen, S.L., Christensen, S.C.B., Albrechtsen, H.-J., Rygaard, M., 2015. GISMOVA, GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen, 1.del - Introduktion, baggrund og metode.
- Miljøministeriet Geodatastyrelsen, 2015. Kortforsyningen. Available at: download.kortforsyningen.dk.
- Møllerup, F., 2014. Personal communication.
- Nissen, E., 2014a. Personal communication.
- Nissen, E., 2014b. Power Point: Water supply network at VCS, VandCenter Syd.
- Schneider Electric, 2015. Aquis. Available at: <http://www.schneider-electric.dk/sites/denmark/da/loesninger/vand/aquis.page>.

DTU Environment
Department of Environmental Engineering
Technical University of Denmark

Miljoevej, building 113
DK-2800 Kgs. Lyngby
Denmark

Phone: +45 45 25 16 00
Fax: +45 45 93 28 50
Email: reception@env.dtu.dk
Website: www.env.dtu.dk